



Juha Tervonen

Liikenteen päästökustannusten päivittäminen

Esiselvitys

Juha Tervonen

Liikenteen päästökustannusten päivittäminen

Esiselvitys

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 46/2010

Liikennevirasto

Helsinki 2010

Kannen kuvat: Visual Skilla

Verkkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-048-4

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 020 637 373

Juha Tervonen: Liikenteen päästökustannusten päivittäminen. Esiselvitys. Liikennevirasto, liikennejärjestelmäosasto. Helsinki 2010. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 46/2010. 48 sivua. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-048-4.

Avainsanat: päästö, terveysvaikutus, luontovaikutus, materiaalivaikutus, ilmastomuutos, haittakustannus, yksikköarvo

Tiivistelmä

Tässä esiselvityksessä tarkastellaan liikenteen päästökustannusten tason ja merkittävyyden uudelleen arvioinnin tarpeita eritellen eri yhdisteisiin liittyvät terveysvaikutukset, luonto- ja materiaalivaikutukset sekä ilmastovaikutukset. Tarkastelu kattaa tie-, rautatie- ja vesiliikenteen päästöt ja haitta-arviot sekä kokonaisuutena että liikenneympäristöihin eriteltynä.

Liikenteen päästökustannukset kuvaavat pakokaasujen paikallisesti, alueellisesti ja globaalisti aiheuttamia taloudellisia haittoja. Eri liikennemuodoille voidaan laskea tarkasteluvuoden päästöjen aiheuttamien haittojen kokonaiskustannukset (euroa/ vuosi). Kokonaiskustannukset voidaan kohdentaa päästötonneille (€/tonni/yhdiste) sekä tilastoiduille liikennesuoritteille (€/km). Yksikköarvoja käytetään esimerkiksi laskettaessa liikennejärjestelmän kehittämisen aikaansaamien päästömäärien muutosten taloudellisia vaikutuksia.

Suomen tie-, rautatie- ja vesiliikenteen päästökustannukset määritettiin liikennejärjestelmän yhteiskuntataloudellista vaikutustarkastelua varten 1990-luvun lopulla. Se tehtiin Euroopan komission ExternE-tutkimushankkeissa kehitetyllä vaikutuspolkumenetelmällä. Suomelle merkityksellisiä ympäristövaikutuksia, joita menetelmä ei kata, arvioitiin täydentävästi.

Liikennesektorin päästöt ovat muuttuneet teknisen kehityksen, talouden tuotannon ja liikenteen määrien muutosten myötä. Paikallisesti ja alueelliset haitalliset yhdisteet ovat vähentyneet varsinkin tieliikenteessä liikenteen kasvusta huolimatta. Vesiliikenteessä vastaavia päästövähennyksiä ei ole tapahtunut ja liikenteen määrä on myös kasvanut. Normiohjaus alkaa vähentää päästöjä voimakkaammin tulevina vuosina. Rautatieliikenteen päästöt olivat jo alun perin alhaiset, ja ne ovat vähentyneet edelleen.

Oletettavasti paikallisesti ja alueellisesti vaikuttavien liikenteen päästöjen haitat ovat muuttuneet päästömäärämuutosten vuoksi. Päästöjen epidemiologista tarkastelua on kehitetty ja terveysvaikutusten sekä muiden haittojen taloudellinen merkitys on muuttunut. Myös päästöjen luonto- ja materiaalivaikutukset ovat päästömäärämuutosten vuoksi oletettavasti erilaiset tänä päivänä. Siten paikallisesti ja alueellisesti vaikuttavien päästöjen haittakustannusten päivittäminen on perusteltua.

Kasvihuonekaasujen päästömäärät ovat lisääntyneet merkittävästi, ja niiden painoarvo on kasvanut liikenteen päästötarkasteluissa. Hiilidioksidipäästöille vaikutusarvioinneissa määriteltyä yksikköarvoa ei kuitenkaan suositella muutettavan, mutta arvon korottamista vaikutusarviointien laskentakausilla voidaan harkita. Hiilidioksidin ohella jatkossa on huomioon otettava aiempaa systemaattisemmin myös metaani ja typpioksiduuli. Tulevaisuudessa on myös noteerattava uusien ilmastopolitiikassa hiilineutraaleiksi määriteltyjen tai vähän päästöjä aiheuttavien polttoaineiden ja energian lähteiden merkitys. Samalla on otettava huomioon uusien polttoaineiden yleistymisen merkitys muiden yhdisteiden päästömäärille.

Esiselvityksen lopuksi päästökustannusten päivittämistutkimukselle on määritetty alustava työsuunnitelman runko ja resurssitarvearvio. Päivittämiselvityksen vaihtoehtona on ottaa käyttöön yleiseurooppalaisissa tutkimuksissa Suomelle määriteltyjä päästökustannusten yksikköarvoja. Ne eivät kuitenkaan vastaa tarkkuudeltaan suomalaisen selvityksen tuloksia.

Juha Tervonen: Uppdatering av emissionskostnaderna för trafiken. Förutredning. Trafikverket, Trafiksystemsavdelningen. Helsingfors 2010. Trafikverkets undersökningar och utredningar 46/2010. 48 sidor . ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-048-4.

Nyckelord: emission, hälsoeffekt, miljöeffekt, materialeffekt, klimatförändring, skadekostnad, enhetsvärde

Sammanfattning

I denna förutredning granskas behoven av att göra en ny bedömning av emissionskostnadernas nivå för trafiken samt kostnadernas betydelse. I utredningen specificeras hälsoeffekterna, miljö- och materialeffekterna samt klimateffekterna med avseende på olika föreningar. Granskningen omfattar emissionerna från väg-, järnvägs- och vattentrafiken, utvärderingar av skador-na som helhet och specificerat enligt trafikmiljöer.

Emissionskostnaderna för trafiken beskriver lokalt, regionalt och globalt de ekonomiska olägenheterna av avgaserna. Totalkostnaderna (€/år) för skador som emissionerna förorsakar kan under det granskade året räknas ut för olika trafikformer. Totalkostnaderna kan allokteras enligt antalet utsläppston (€/ton/förening) samt enligt statistikfört trafikarbete (€/km). Enhetsvärdet används exempelvis vid beräkningen av de ekonomiska effekterna av förändrade utsläppsmängder när trafiksystemet utvecklas.

Emissionskostnaderna för väg-, järnvägs- och vattentrafiken i Finland definierades med en händelseträdsmetod för effekter som Europeiska kommissionen utvecklade i forskningsprojektet ExternE i slutet av 1990-talet. För betydande miljökonsekvenser i Finland, som inte tas upp i händelseträdsmetoden för effekter, gjordes en kompletterande bedömning.

Den tekniska utvecklingen och förändringarna i den ekonomiska produktionen och i trafikmängderna har ändrat trafikemissionerna. Skadliga föreningar speciellt från trafiken har minskat lokalt och regionalt trots att trafikmängderna har ökat. I vattentrafiken har motsvarande emissioner inte minskat och trafikmängden har dessutom ökat, men en normstyrning kommer de närmaste åren att minska emissionerna kraftigt. Emissionerna från järnvägstrafiken var redan ursprungligen små och de har fortsättningsvis minskat.

Olägenheterna på grund av trafikemissionerna som påverkar lokalt och regionalt har troligen förändrats. Den epidemiologiska granskningen av emissioner har utvecklats och den ekonomiska betydelsen av hälsoeffekter och andra olägenheter har förändrats. Miljö- och materialeffekterna är också i dag på grund av ändrade utsläppsmängder antagligen olika. Det är därför motiverat att uppdatera skadekostnaderna för utsläpp som påverkar lokalt och regionalt.

Klimatgasutsläppen har ökat betydligt och deras tyngdvärde i granskningen av trafikemissioner är större. Det är dock inte tillrådligt att ändra de enhetsvärden som har definierats för konsekvensbedömningarna gällande koldioxidutsläpp, men man kan överväga att höja värdet under bedömningsperioderna. Förutom koldioxiden ska också metan och kväveoxidul beaktas mera systematiskt än tidigare. Framdeles ska också kolneutrala bränslen och energikällors klimatpolitiska betydelse beaktas. Samtidigt ska också beaktas att nya bränslena, som blir allt vanligare, inverkar på mängden utsläpp av övriga föreningar.

I slutet av förutredningen presenteras stommen för en preliminär arbetsplan för undersökningar som behövs för att uppdatera emissionskostnaderna samt en bedömning av resursbehovet. Ett alternativ till uppdateringsutredningen är att ta i bruk enhetsvärdena för emissionskostnader som i allmän europeiska undersökningar har definierats för Finlands del. Värdena motsvarar dock inte till noggrannheten resultaten i en finländsk utredning.

Juha Tervonen: Revision of transport emission cost estimates. Pre-study. Finnish Transport Agency, Traffic System Department. Helsinki 2010. Research reports of the Finnish Transport Agency 46/2010. 48 pages. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-048-4.

Keywords: emission, health impact, nature impact, material impact, climate change, damage cost, unit value

Summary

This pre-study examines the needs to revise transport emission cost estimations in Finland. Different compounds are examined separately according to associated impacts. Emissions from road, railway and waterway transport are considered as total volumes and assorted by different transport environments.

Transport emission costs represent economic damages caused by locally, regionally and globally harmful emissions. Impact categories include health, nature, materials and climate change. Total damage costs can be estimated for different transport modes (euros/year). Then total costs can be allocated to statistical emission volumes (euro/tonne) per compound, and to transport volumes (euro/km). These unit values are used in economic appraisal of the transport system.

Transport emission costs were originally estimated for Finnish road, railway and waterway transport in the late 1990's. The impact pathway method developed in research projects of the European Commission was applied. Impacts that are not covered by the impact pathway method were assessed separately.

Transport emission volumes have since changed due to technical development, changes in economic production and changes in traffic volumes. Volumes of locally and regionally harmful emissions from roads have reduced despite of increased traffic. Emissions from waterway transport have not decreased to similar extent and also traffic has increased, but normative control will eventually reduce emissions in the near future. The scarce emissions from railway transport have further decreased.

Presumably local and regional damages from road transport emissions have reduced. Also epidemiological impact assessment has been developed further, and the economic significance of different impacts has changed. Therefore, revision of transport emission cost estimations is justified.

Volumes of climate relevant emissions have increased significantly, and their weight among transport emissions has become more important. However, the unit value for carbon dioxide tonne that is used in transport appraisal does not need revision. Instead other climate emissions, in particular methane and nitrogen oxides, should be considered systematically together with carbon dioxide. Also new carbon neutral fuels and sources of energy should be recognised and weighted according to their status in climate policy. Further, the impact of new fuels on other compounds should be assessed.

In this pre-study a work programme and budget has been outlined for a comprehensive revision study. An alternative to a full study is to examine whether European research studies provide such recently defined unit values for emissions that can be transferred to and applied in Finland.

Esipuhe

Tie-, rautatie- ja vesiliikenteen päästökustannukset määritettiin infrastruktuurihankkeiden yhteiskuntataloudellista vaikutustarkastelua varten 1990-luvun lopulla. Päästökustannusten perusteet kaipaavat tarkistamista, koska päästökustannusten yksikköarvoja (€/tonni) on päivitetty sittemmin lähinnä kustannusindekseillä. Suomen kokonaispäästöt ja liikennesektorin päästöt ovat muuttuneet teknisen kehityksen ja talouden toiminnan muutosten myötä, sekä myös päästölaskentamenetelmien muuttumisen myötä.

Esiselvityksessä on arvioitu liikenteen päästökustannusten yksikköarvojen ajantasaisuus ja päivittämistarve. Lisäksi on arvioitu päästökustannusten perusteellisen päivittämisselvityksen resursointi.

Selvitys on toteutettu osana Liikenneviraston tutkimus- ja kehittämisohjelmaa. Raportin on kirjoittanut Juha Tervonen (JT-Con). Liikennevirastossa selvityksestä on vastannut Taneli Antikainen. Lisäksi työn ohjausryhmään kuuluivat Anton Goebel, Arto Hovi, Harri Lahelma sekä Jukka Valjakka.

Raporttia on arvioinut ja kommentoinut lisäksi DI Lea Gynther, joka on yksi Suomen päästökustannusselvityksiä 1990-luvulla tehneistä asiantuntijoista.

Helsingissä joulukuussa 2010

Liikennevirasto
Liikennejärjestelmäosasto/Liikennesuunnitteluyksikkö

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	8
2	LIIKENTEEEN PÄÄSTÖKUSTANNUKSET VUOSINA 1996 JA 2000.....	10
3	PÄÄSTÖJEN KEHITYS	13
3.1	Liikenteen päästöt ja Suomen kokonaispäästöt.....	13
3.1.1	Päästötilanne vuosina 1996 ja 2007.....	13
3.1.2	Päästöjen tuleva kehitys	19
3.2	Päästöt ja pitoisuudet taajamissa ja haja-asutusalueilla	21
3.2.1	Tieliikenteen päästöt.....	22
3.2.2	Rautatieliikenteen päästöt	24
3.2.3	Vesiliikenteen päästöt.....	24
3.3	Väestön tiheys taajamissa ja haja-asutusalueilla	25
4	VAIKUTUSTEN ARVIOINNIN KEHITYS.....	26
4.1	Vaikutuspolkumenetelmä	26
4.2	Elinympäristön terveysriskit Suomessa	28
4.3	Terveysvaikutusten arvo	30
4.3.1	Sairaanhoidon kustannukset	30
4.3.2	Menetetyn työn arvo ja sairastamisen hyvinvointivaikutukset	31
4.3.3	Menetetyn elinvuoden ja tilastollisen elämän arvo	32
4.4	Luonto- ja materiaali vaikutusten arvo	33
4.5	Ilmastomuutoksen arvottaminen	34
4.6	Suomen päästökustannusten vertailu kansainvälisiin tutkimustuloksiin	37
5	YHTEENVETO JA SUOSITUKSET	39
5.1	Päästöjen merkitys.....	39
5.1.1	Yleisesti.....	39
5.1.2	Tieliikenne	40
5.1.3	Rautatieliikenne	41
5.1.4	Vesiliikenne.....	41
5.2	Haittavaikutusten arvo	42
5.2.1	Terveysvaikutukset	42
5.2.2	Luonto- ja materiaali vaikutukset	42
5.2.3	Ilmastomuutos	43
5.3	Erityiskysymyksiä Suomessa	43
5.4	Arvottamisselvityksen resurssitarvearvio.....	44
	LÄHTEET	47

1 Johdanto

Liikenteen päästökustannukset kuvaavat pakokaasujen paikallisesti, alueellisesti ja globaalisti aiheuttamia taloudellisia haittoja. Painopiste on päästöjen terveysvaikutuksilla ja ilmastomuutoksen haittoilla, mutta tarkasteluun kuuluu myös luonto- ja materiaali-vaikutuksia. Eri liikennemuodoille voidaan laskea tarkasteluvuoden päästöjen aiheuttamien haittojen kokonaiskustannukset (euroa/vuosi). Kokonaiskustannukset voidaan edelleen kohdentaa päästötonneille (€/tonni/yhdiste) sekä tilastoiduille liikennesuoritteille (€/km). Yksikköarvoilla voidaan laskea taloudellisten haittojen muutoksia, kun esimerkiksi liikenteen kehitys, liikennejärjestelmän kehittäminen tai tekninen kehitys muuttaa päästömääriä.

Suomen tie-, rautatie- ja vesiliikenteen päästökustannukset määritettiin liikennejärjestelmän yhteiskuntataloudellista vaikutustarkastelua varten 1990-luvun lopulla (Tielaitos 1999, Ratahallintokeskus 1999 ja Merenkululaitos 2000). Määritys tehtiin Euroopan komission ExternE-tutkimushankkeissa kehitetyllä vaikutuspolkumenetelmällä. Suomalaisille merkityksellisiä ympäristövaikutuksia, joita vaikutuspolkumenetelmä ei kata, arvioitiin täydentävästi.

Selvityksissä inventoitiin Suomen kokonaispäästöt ja liikenteen päästöjen osuudet liikennemuodoittain vuodelle 1996 sekä tehtiin päästöjen leviämismallitarkasteluja liikenteestä aiheutuvien päästöpitaisuuksien selvittämiseksi. Liikenteen päästöjen tietolähde oli VTT:n LIPASTO-järjestelmä. Suomalaisina lähtötietoina käytettiin lisäksi mm. väestötiheyksiä ja eräitä terveysvaikutusten taloudellisia arvoja.

Liikenteen päästömäärien muutokset ja eräitä vaikutuspolkumenetelmän muutoksia otettiin huomioon päästökustannusten päivityksessä vuonna 2002 (vuoden 2000 päästötaaso; Hämekoski ja Tervonen 2003). Päivityksen tuloksena saadut eri yhdisteiden yksikköarvot (euroa/tonni) otettiin käyttöön tie-, rautatie- ja vesiliikenteen hankkearviointiohjeissa. Vaikutuspolkumenetelmää ei ole sovellettu seikkaperäisesti alkuperäisten selvitysten jälkeen. Yksikköarvoja on päivitetty kustannusindekseillä. Se pitää yksikköarvot yleisen kustannuskehityksen mukaisella tasolla, mutta tällöin ei oteta huomioon päästömäärien muutoksista ja vaikutustarkastelun kehittymisestä seuraavia haittakustannusten muutoksia.

Liikennesektorin päästöt ovat muuttuneet teknisen kehityksen, talouden tuotannon ja liikenteen määrien muutosten myötä. Käsitys päästömääristä on muuttunut myös päästölaskentamenetelmien kehittyessä. Vaikutuspolkumenetelmää ja päästöjen epidemiologista tarkastelua on kehitetty edelleen. Myös terveysvaikutusten ja muiden haittojen taloudellinen merkitys muuttuu ajan myötä.

Tässä esiselvityksessä tarkastellaan päästökustannusten tason ja merkittävyyden uudelleen arvioinnin tarpeita erikseen eri yhdisteiden terveysvaikutuksille, luonto- ja materiaali-vaikutuksille sekä ilmastovaikutuksille. Päästökustannusten päivittämistutkimukselle on määritetty alustava työsuunnitelman runko ja resurssitarvearvio. Vaihtoehtona on ottaa käyttöön yleiseurooppalaisissa tutkimuksissa Suomelle määritellyjä päästökustannusten yksikköarvoja. Ne eivät kuitenkaan vastaa tarkkuudeltaan suomalaisen selvityksen tuloksia.

Tässä esiselvityksessä käsitellään ensisijaisesti tie-, rautatie- ja vesiliikenteen päästöjä. Ilmaliikenteen päästöt ovat esillä vain liikennesektorin kokonaispäästöjen kuvauksessa. Päästömäärien muutoksia ja siitä seuraavia haittavaikutusten muutoksia tarkastellaan nyt ainoastaan polttoaineiden käyttövaiheen osalta. Mahdollisissa jatkoselvityksissä tulee tarkastella myös polttoaineiden tuotanto- ja jakeluketjun päästöjä.

2 Liikenteen päästökustannukset vuosina 1996 ja 2000

Suomen tie-, rautatie- ja vesiliikenteen päästökustannuksia on määritetty varsinaisin laskelmin kahteen otteeseen. Alkuperäiset perusselvitykset tehtiin 1990-luvun lopulla (Tielaitos 1999, Ratahallintokeskus 1999 ja Merenkululaitos 2000).¹ Ne perustuivat Euroopan komission ExternE-tutkimushankkeissa kehitettyyn vaikutuspolkumenetelmään ja siihen Suomessa tehtyihin täydennyksiin. Päästöjä tarkasteltiin vuoden 1996 tilastojen mukaan. Pian näiden selvitysten jälkeen tehtiin kevyemmin läpi viety päivitysselvitys vuoden 2000 päästömäärillä (Hämekoski ja Tervonen 2003).

Alkuperäisissä päästökustannusselvityksissä tieliikenteelle (vuoden 1996 päästöt) määritettiin polttoaineiden käyttövaiheen osalta 935 M€ haittakustannukset vuoden 1997 hinnoissa (taulukko 1). Itämeren kauppamerenkululle määritetyt päästöjen haittakustannukset olivat 125 M€. Rautatieliikenteen päästöjen haittakustannukset olivat 14 M€ (ei taulukossa).

Tieliikenteen päästökustannuksissa terveysvaikutusten painoarvo (noin 54 %) oli selvästi korkeampi kuin Itämeren kauppamerenkulun päästökustannuksissa (28 %). Toisaalta ilmastomuutoksen osuus oli tieliikenteen kustannuksissa alhaisempi (40 %) kuin Itämeren kauppamerenkulussa (66 %). Luonto- ja materiaalivaikutusten osuus oli edellä mainittuja vaikutuksia vähäisempi.

Taulukko 1. Päästöjen aiheuttamat kustannukset Suomessa; polttoaineiden käytön osuus vuoden 1997 hinnoissa (Tielaitos 1999 ja Merenkululaitos 2000).

Kuormituslaji, M€	Tieliikenteen päästöt	Meriliikenteen päästöt (kauppamerenkulku)
Kuolleisuusriski	370	25,2
Sairastuvuusriski	133	10,1
Materiaalien korroosio	2,2	0,5
Likaantuminen	32	0,8
Metsien happamoituminen	15	1,2
Metsien otsonivauriot	5,7	2,2
Satovauriot	4	1,5
Vesistöjen happamoituminen	-	0,5
Vesistöjen rehevöityminen	-	0,2
Ilmastomuutos	373	82,4
Yhteensä	934,9	124,6

Päästömäärien muutoksista sekä vaikutuspolkumenetelmän kehittymisestä seuranneita haittakustannusten muutoksia arvioitiin vuonna 2002 (Hämekoski ja Tervonen 2003). Tarkastelu tehtiin vuoden 2000 päästötasolle. Tällöin ei kuitenkaan tehty leviämismallinnuksia ja pitoisuusmääryksiä. Selvityksessä arvioitiin tieliikenteen

¹ Päästökustannusselvityksiä tehtiin Suomessa jo aiemminkin, mutta tässä kuvattujen lähteiden tuloksia on sovellettu sittemmin liikennesektorin vaikutustarkasteluissa. Ilmaliikenteen päästökustannuksia ei Suomessa ole koskaan arvioitu samalla systematiikalla kuin muilla liikennemuodoilla.

päästökustannusten kokonaisuudessaan alentuneen vuoden 1996 selvityksestä; päästökustannusten taso oli kaiken kaikkiaan 715 M€ (vuoden 2000 hinnoissa; käyttövaiheen päästöt).

Rautatieliikenteen päästökustannukset alenivat sähkövedon lisääntymisen vähennettyä päästöjä. Vesiliikenteen päästökustannukset kokonaisuutena hieman nousivat ollen meriliikenteessä kaiken kaikkiaan noin 139 M€ (vuoden 2000 hinnoissa; käyttövaiheen päästöt).

Päästökustannusselvityksissä on laskettu haittojen kokonaiskustannuksen ohella myös päästökustannusten yksikköarvot. Kullekin yhdisteelle määritettyjen kokonaisu-haittojen arvo jaetaan tarkasteluvuoden päästömäärillä ja tuloksena saadaan haittojen arvo päästötonnia kohti (euroa/tonni/yhdiste). Yksikköarvot voidaan määrittää sekä kokonaistasolla että tarkastelluissa liikenneympäristöissä (tieliikenteessä ja rautatieliikenteessä jaolla taajama ja haja-asutusalue; vesiliikenteessä jaolla avomeri, rannikko, sisävesi ja satama).²

Vuoden 2002 päivityksen tuloksena saadut yksikköarvot (€/tonni/yhdiste) otettiin käyttöön tieliikenteen, rautatieliikenteen ja vesiliikenteen hankearviointiohjeissa (taulukot 2–4; korvaten edellisten selvitysten tuottamat yksikköarvot). Lukuja on sovellettu siitä lähtien sellaisenaan vain kustannusindekseillä päivittäen.

Yhdistekohtaiset päästökustannusten yksikköarvot (€/tonni/yhdiste) ovat vakiintuneet laajaan käyttöön liikennesektorin vaikutustarkasteluissa, ja siksi on tärkeää, että niiden taso vastaa mahdollisimman oikein päästöjen aiheuttamien taloudellisten haittojen arvoa. Kuten taulukoista havaitaan, vaihtelevat päästökustannukset yhdisteittäin paljon riippuen liikenneympäristöstä. Taustalla vaikuttavat yhdisteiden päästömäärät ja altistuvien kohteiden määrä näissä ympäristöissä. Yksikköarvot muuttuvat suuntaan tai toiseen herkästi kun vaikutustarkastelut tehdään uusilla päästömäärillä ja päivittyneillä tarkastelumenetelmillä.

Taulukko 2. Tieliikenteen päästökustannukset yhdisteittäin (euroa/tonni) vuonna 2000.

Yhdiste, euroa/tonni	Taajama	Haja-asutusalue	Keskimäärin (painotettu)
Rikkidioksidi (SO ₂)	13 421	1 994	8 322
Typen oksidit (NO _x)	1 111	435	734
Hiukkaset (PM _{2,5})	201 879	6 308	103 567
Hiilimonoksidi (CO)	24	1	16
Hiilivedyt	67	67	67
Hiilidioksidi (CO ₂)	32	32	32

² Päästökustannukset voidaan kohdentaa edelleen tilastoiduille liikennesuoritteille. Suoritekohtaiset yksikköarvot vanhenevat helposti mm. liikenteen ja päästöjen määrien sekä ajoneuvojen päästöominaisuuksien muuttuessa.

Taulukko 3. Dieseljunaliikenteen päästökustannukset yhdisteittäin (euroa/tonni) vuonna 2000.

Yhdiste, euroa/tonni	Taajama	Haja-asutusalue	Keskimäärin (painotettu)
Rikkidioksidi (SO ₂)	16 575	612	3 203
Typen oksidit (NO _x)	1 622	186	419
Hiukkaset (PM _{2,5})	66 959	1 896	12 457
Hiilimonoksidi (CO)	15	1	3
Hiilivedyt	236	236	236
Hiilidioksidi (CO ₂)	32	32	32

Taulukko 4. Vesiliikenteen päästökustannukset yhdisteittäin (euroa/tonni) vuonna 2000.

Yhdiste, euroa/tonni	Avomeri (Itämeri)	Rannikko	Sisävesi	Satama
Rikkidioksidi (SO ₂)	327	547	684	2 284
Typen oksidit (NO _x)	301	397	569	1 062
Hiukkaset (PM)	3 410	5 610	9 580	26 880
Hiilimonoksidi (CO)	0,4	2	23	19
Hiilivedyt	137	153	197	148
Hiilidioksidi (CO ₂)	32	32	32	32

3 Päästöjen kehitys

3.1 Liikenteen päästöt ja Suomen kokonaispäästöt

3.1.1 Päästötilanne vuosina 1996 ja 2007

Päästöjen kehitystä voidaan tutkia vertaamalla 1990-luvun lopulla käytössä olleita päästömääräarvioita tuoreisiin arvioihin. Taulukossa 5 esitetään päästökustannusten arvottamistutkimuksissa lähtötietona käytetyt liikennesektorin päästömäärät. Vertailutietona on arvio Suomen kokonaispäästöistä vuonna 1995.

Taulukossa 6 esitetään päästömäärien vertailu vuodelle 2007. Vertailuvuodet on valittu näin, koska vuonna 2008 voimakas taantuma vähensi päästöjä. Kuljetusten kysyntä aleni erityisen voimakkaasti. Vuonna 2009 taantuma jarrutti taloutta edelleen. Vuonna 2010 alkanut elpyminen lisää päästöjä, mutta tilastotietoja ei ole vielä käytävissä.

Vertailusta voidaan havaita, että kaikkien yhdisteiden päästöt (pl. typpioksiduuli N_2O ja hiilidioksidi CO_2), ovat vähentyneet liikennesektorilla ja koko Suomen tasolla. Liikenteen päästöjen suhteellinen painoarvo on nykytilanteessa silti kutakuinkin sama kuin kymmenen vuotta aiemmin. Pienhiukkaspäästöissä ($PM_{2,5}$) liikenteen osuus on alentunut merkittävämmiin. Liikenteen päästöjen painoarvoa haittojen muodostumisessa lisää kuitenkin se, että niin sanottuihin piipunpääpäästöihin nähden liikenteen päästöt kohdentuvat suuremmin hengitettävään ilmaan.

Liikennemuodoittain ja yhdisteittäin voidaan todeta seuraavia suhteellisia muutoksia:

- Häkäpäästöt (CO) ovat vähentyneet tie- ja rautatieliikenteessä, mutta ne ovat lisääntyneet hieman vesiliikenteessä ja ilmaliikenteessä.
- Hiilivetyjen (HC) päästöt ovat vähentyneet paljon muualla paitsi vesiliikenteessä.
- Typen oksidien (NO_x) päästöt ovat vähentyneet voimakkaasti tieliikenteessä, mutta myös rautatie- ja vesiliikenteessä (samalla vähenee typen oksideista muodostuva nitraatti). Ilmaliikenteessä päästöt ovat lisääntyneet.
- Hiukkaspäästöt ($PM_{2,5}$) ovat enemmän kuin puolittuneet tieliikenteessä, mutta vesiliikenteen päästöt ovat ennallaan.
- Metaanipäästöt (CH_4) ovat vähentyneet runsaasti tie- ja vesiliikenteessä, mutta rautatieliikenteessä päästöt ovat lisääntyneet (taso on tosin alhainen).
- Typpioksiduulipäästöt (N_2O) ovat lisääntyneet voimakkaasti tieliikenteessä sekä myös rautatie- ja ilmaliikenteessä, mutta päästöt ovat vähentyneet vesiliikenteessä.
- Rikkipäästöt (SO_2) ovat lähes kokonaan poistuneet tieliikenteessä ja päästöt ovat vähentyneet rautatie- ja ilmaliikenteessä (samalla vähenee rikkidioksidista muodostuva sulfaatti). Vesiliikenteessä päästöjen vähenemä on ollut pienempi.
- Hiilidioksidipäästöt (CO_2) ovat lisääntyneet selvästi tie- ja vesiliikenteessä mutta päästöt ovat vähentyneet rautatieliikenteessä.

Päästökehityksestä voidaan olettaa, että Suomen liikennesektorin päästöjen taloudelliset haittavaikutukset ovat kokonaisuutena vähentyneet alueellisesti ja paikallisesti haitallisten yhdisteiden osalta. Kasvihuonekaasujen merkitys on sen sijaan lisääntynyt.

Normiohjaus vaikuttaa eniten päästöjen kehitykseen. Ajoneuvojen päästönormit ja ilmanlaadun vaatimukset kiristyvät jatkuvasti. Esimerkiksi Euroopan yhteisön ilmanlaatudirektiivin (2008/50/EY) myötä pienhiukkasille asetetaan uudet raja-arvot vuoteen 2015 mennessä. Suomen kokonaispäästötilanne ja eri sektoreiden suhteelliset painoarvot muuttuvat, kun Industrial Emissions -direktiivi velvoittaa suuret energia-laitokset leikkaamaan typen oksidien ja pienhiukkasten päästöjä (yli puolella) ja rikkidioksidin päästöjä (kolmasosalla) vuoteen 2016 mennessä. Tämän jälkeen liikenteen päästöjen suhteellinen merkitys taas voimistuu.

Taulukko 5. Suomen liikenteen päästöt 1996 (Tielaitos 1999; Merenkululaitos 2000; VTT LIPASTO) ja Suomen kokonaispäästöt 1995 (Tilastokeskus 2010).³

Tonnina	CO	HC	NO _x	PM _{2,5}	CH ₄ **	N ₂ O	SO ₂	CO ₂
Tieliikenne	295 514	49 012	127 037	7 557	2 494	933	1 176	10 301 000
Rautatieliikenne	523	476	3 586	93	19	15	266	291 000
Vesiliikenne*	3 240	1 517	58 381	1 434	399	78	19 177	2 232 000
Ilmaliikenne	2 774	317	2 495	-	26	28	271	728 000
Liikennesektori yhteensä 1996	302 051	51 322	191 499	9 084	2 938	1 054	20 890	13 552 000
	CO	VOC	NO ₂	PM	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂
Suomen kokonais-päästöt 1995	634 000	192 000	245 000	50 000	296 000	-	105 000	57 900 000
Liikenteen osuus	48 %	-	-	18 %	1 %	-	20 %	23 %

*Laivaliikenne (ei kalastus-, työ- ja huviveneitä ja jäänmurtajia). ** Metaanipäästöt sisältyvät HC-päästöihin, mutta ne esitetään myös erikseen voimakkaan ilmastovaikutuksen vuoksi.

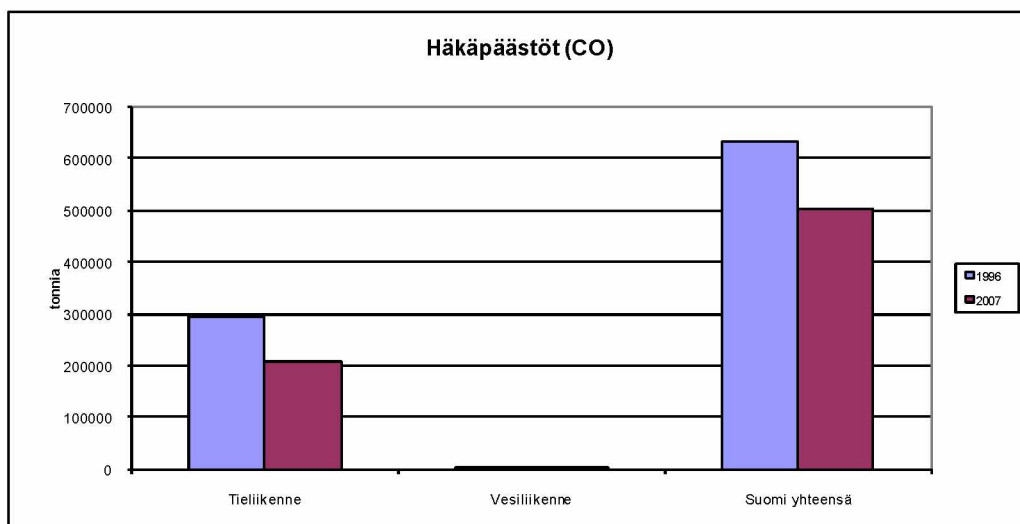
³ Osa liikennesektorin ja koko Suomen päästöistä on ilmoitettu eri yhdistemuodoissa.

Taulukko 6. Suomen liikenteen päästöt 2007 (VTT LIPASTO) ja Suomen kokonaispäästöt 2007 (Tilastokeskus 2010).

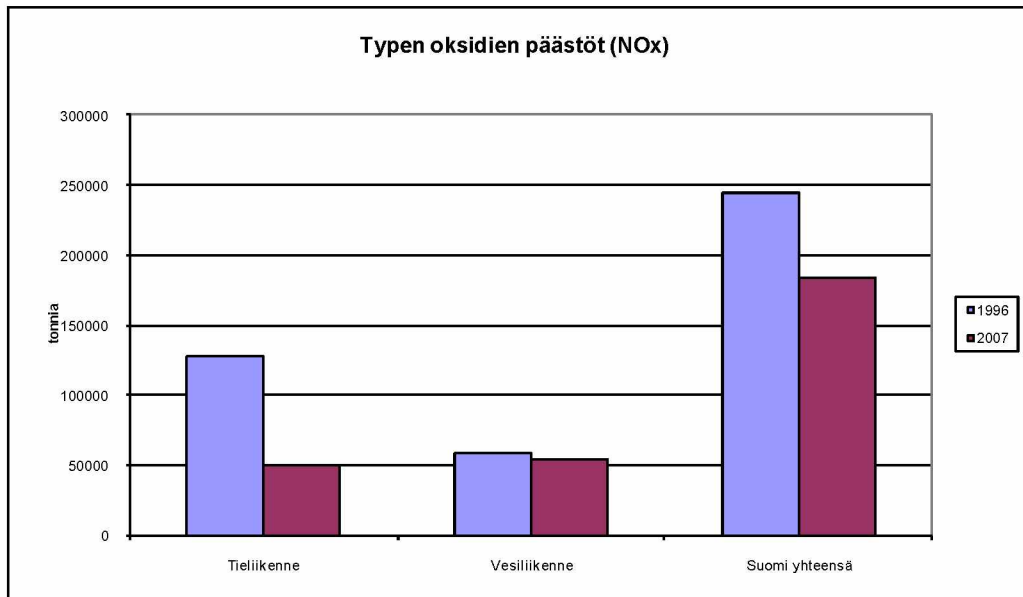
Tonnia	CO	HC	NOx	PM _{2,5}	CH ₄ ***	N ₂ O	SO ₂	CO ₂
Tieliikenne	208 135 (-30 %)	24 189 (-51 %)	50 456 (-60 %)	2 620 (-65 %)	1 443 (-42 %)	2 076 (+123 %)	73 (-94 %)	12 318 480 (+20 %)
Rautatieliikenne	444 (-15 %)	162 (-66 %)	2 746 (-23 %)	78 (-16 %)	20 (+5 %)	17 (+13 %)	195 (-27 %)	233 396 (-20 %)
Vesiliikenne**	3 399 (+5 %)	1 535 (+1 %)	53 786 (-8 %)	1 455 (+1 %)	208 (-48 %)	73 (-6 %)	17 783 (-7 %)	2 877 538 (+28 %)
Ilmaliikenne	3 431 (+24 %)	277 (-13 %)	2 928 (+17 %)	118 -	26 (0 %)	35 (+25 %)	217 (-20 %)	861 749 (+18 %)
Liikennesektori yhteensä 2007*	215 409 (-28 %)	26 163 (-49 %)	109 916 (-43 %)	4 271 (-53 %)	1 697 (-42 %)	2 201 (+109 %)	18 268 (-13 %)	16 291 163 (+20 %)
	CO	VOC	NO ₂	PM	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂
Suomen kokonaispäästöt 2007	503 000 (-21 %)	133 000 (-31 %)	184 000 -	40 000 (-20 %)	213 000 (-28 %)	-	82 000 (-22 %)	66 100 000 (+14 %)
Liikenteen osuus	43 %	-	-	11 %	1 %	-	22 %	25 %

*Luvut sisältävät sähköjunaliikenteen osuuden voimalaitospäästöistä, ulkomaille suuntautuvan vesiliikenteen (laivaliikenne) ja ilmaliikenteen päästöt Suomen talousvyöhykkeellä ilman ylilentöjä. **Laivaliikenne (ei kalastus-, työ- ja huviveneitä ja jäänmurtajia). ***Metaanipäästöt sisältyvät HC -päästöihin, mutta ne esitetään myös erikseen ilmastovaikutuksen vuoksi.

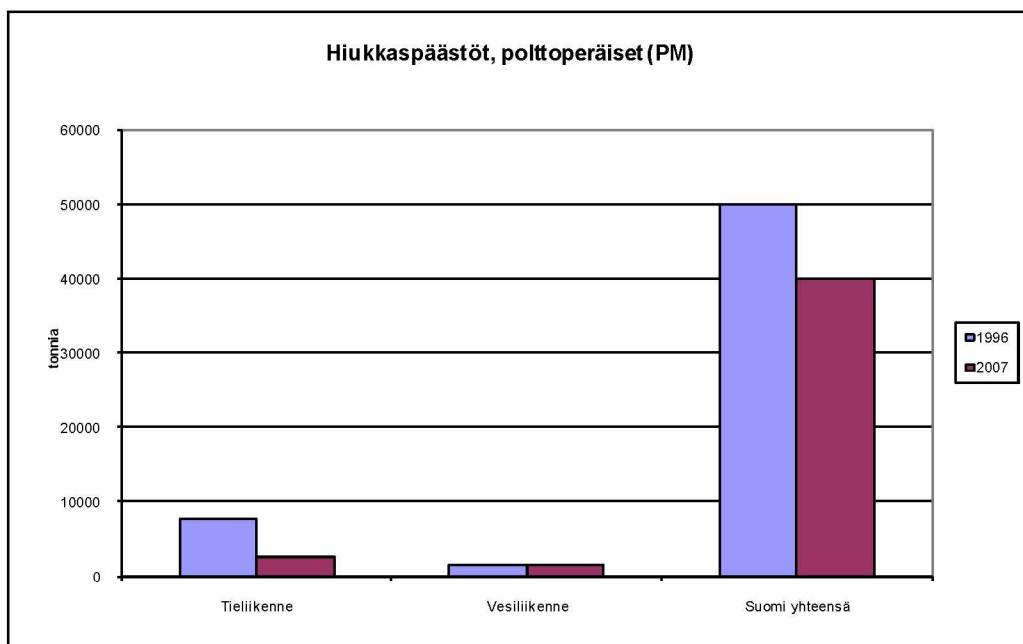
Kuvissa 1–5 havainnollistetaan liikennesektorin merkittävimpien päästölähteiden, tie- ja vesiliikenteen, päästömärien kehitystä ja suhdetta Suomen kokonaispäästöihin vuosina 1995/1996 ja 2007. Rautatieliikenteen päästöt ovat siinä määrin vähäiset, ettei niitä ole esitetty kuvissa muiden liikennemuotojen rinnalla.



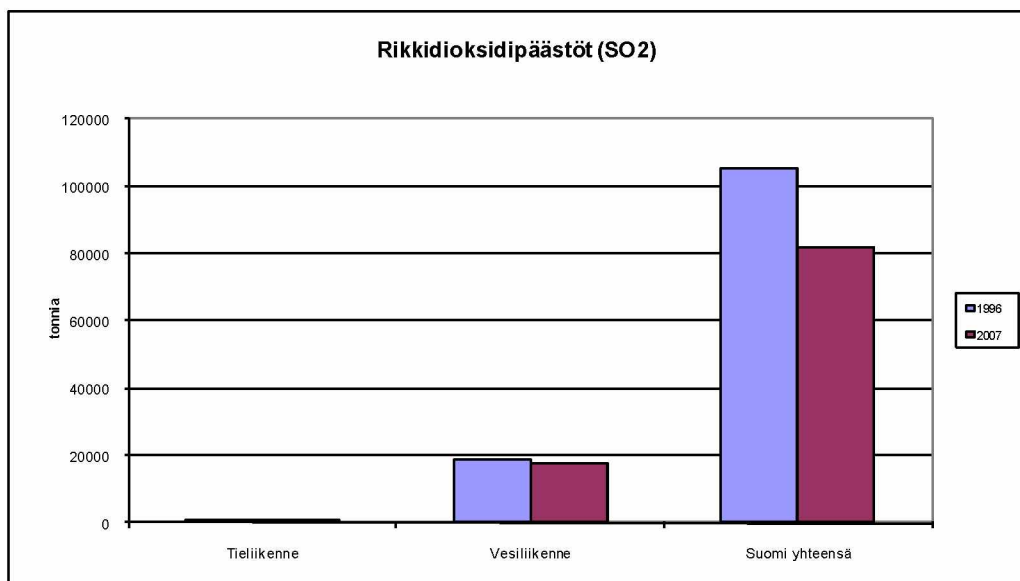
Kuva 1. Häkäpäästöt 1995/1996 ja 2007 (VTT LIPASTO ja Tilastokeskus).



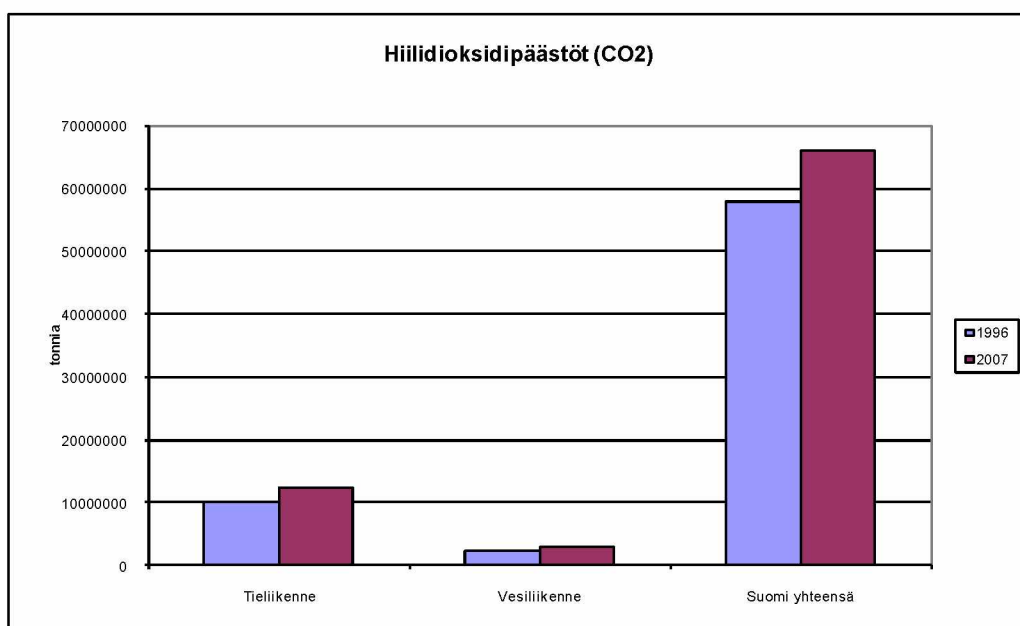
Kuva 2. Typen oksidien päästöt 1995/1996 ja 2007 (VTT LIPASTO ja Tilastokeskus).



Kuva 3. Hiukkaspäästöt 1995/1996 ja 2007 (VTT LIPASTO ja Tilastokeskus).



Kuva 4. Rikkidioksidipäästöt 1995/1996 ja 2007 (VTT LIPASTO ja Tilastokeskus).



Kuva 5. Hiilidioksidipäästöt 1995/1996 ja 2007 (VTT LIPASTO ja Tilastokeskus).

Haitallisten yhdisteiden vähenemisestä seuraa yksinkertaistaan mm. seuraavaa:

- Häkäpäästöjen (CO) väheneminen pienentää sydäninfarktin riskiä ja alailmakehän otsonin muodostuksen haittoja.
- Hiilivetypäästöjen (HC) väheneminen pienentää syöpäriskiä ja alailmakehän otsonin muodostuksen haittoja.
- Typen oksidien (NO_x) väheneminen vähentää hengitysteiden ärsytystä, veden rehevöitymistä ja happamoitumista sekä alailmakehän otsonin haittoja.
- Hiukkasten (PM_{2,5}) väheneminen vähentää hengityselin- ja sydänsairauksia sekä ennen aikaista kuolleisuutta.

- Rikkipäästöjen (SO₂) väheneminen vähentää hengityselin- ja sydänsairauksia ja kuolleisuutta, luonnossa happamoitumista, satotappioita sekä rakennettujen materiaalien rapautumista.

Tieliikenteen päästöjen merkitys alueellisten ja paikallisten haittojen vähenemiselle on merkittävintä. Tosin häkä- (CO), hiilivety- (HC), typen oksidi- (NO_x) ja hiukkaspäästöillä on oletettavasti edelleen merkitystä ilmanlaadulle ja ympäristölle. Rikkipäästöt (SO₂) olivat jo alun perin alhaisia (Tielaitos 1999) ja sittemmin päästöt ovat lähes loppuneet. Tieliikenteestä peräisin olevien rikkipäästöjen ja siitä muodostuvan sulfaatin haitat ovat vähäisiä.

Hiilidioksidi- ja typpioksiduulipäästöjen lisääntyminen tieliikenteessä on merkittävää ja ilmastovaikutuksen merkitys on noussut. Typpioksiduulin (N₂O) ilmakehää lämmittävä vaikutus on 296 kertaa voimakkaampi kuin hiilidioksidin ja elinikä ilmakehässä on yli 100 vuotta. Kokonaisuuteen vaikuttaa myös metaani (CH₄), jonka ilmakehää lämmittävä vaikutus on 21 kertaa voimakkaampi kuin hiilidioksidin.

Rautatieliikenteen jo alun perin vähäiset haitat ovat edelleen pienentyneet ja voivat olla lähes merkityksettömiä useiden päästölajien osalta. Yhdisteestä riippuen rautatieliikenteen osuus Suomen liikenteen päästöistä on 0,2–2 prosenttia. Huomionarvioista on se, että sähkövedon päästöt ovat keskimääräisen sähköntuotannon mukaan laskettuja. Käytännössä sähkövetoisen liikenteen päästöihin voidaan vaikuttaa valikoidulla sähkönhankinnalla.

Vesiliikenteen päästöt ovat osittain vähentyneet, osittain lisääntyneet tai pysyneet ennallaan. Hiilidioksidipäästöt ovat selvästi lisääntyneet. Kokonaisuudessaan vesiliikenteen päästöjen painoarvo on noussut tieliikenteen päästöjen vähenemisen vuoksi.

Huomionarvioista on, että vertailut koskevat *arvioituja* päästömääriä. Arviointimenetelmien kehitys ja eri liikennevälineiden ominaispäästöjä koskevien tietojen lisääntyminen muuttaa myös päästömääräarvioita. Joka tapauksessa paikallisesti ja alueellisesti haitallisia päästöjä on voitu vähentää tai niiden kasvua on voitu hillitä teknisin keinoin voimakkaasta suoritteiden lisääntymisestä huolimatta (ks. suoritetilastot alla).

Suomen liikennesuoritteet vuosina 1995 ja 2007 (Tilastokeskus 2008)

Autoliikenteessä (henkilö-, paketti- ja linja-autot):

- Maanteillä ajosuorite nousi 27 miljardista ajoneuvokilometristä 36 miljardiin ajoneuvokilometriin.
- Katuverkoilla ja yksityisteillä ajosuorite nousi 15 miljardista ajoneuvokilometristä 18 miljardiin ajoneuvokilometriin.

Rautateillä (valtion rataverkon junaliikenne) liikenne lisääntyi 40 miljoonasta 53 miljoonaan junakilometriin.

Vesiliikenteessä (kauppamerenkulku):

- Ulkomaanliikenteessä satamiin saapuneiden alusten määrä lisääntyi 30 129 aluksesta 38 741 alukseen (nettovetoisuus kasvoi 206 miljoonasta tonnista 300 miljoonaan tonniin).
- Kotimaanliikenne väheni mutta alusten nettovetoisuus hieman kasvoi.

Alueellisesti ja paikallisesti haitallisten päästöjen vähenemistä selittävät muun muassa seuraavat tekijät:

- Tieliikenteessä vanhempaa (ei-kat) ajoneuvokantaa on poistunut käytöstä ja uusien päästönormien mukaisia ajoneuvoja on tullut käyttöön.
- Tieliikenteen ajoneuvojen päästönormit kiristyvät koko ajan.
- Polttoaineiden laadut ovat ympäristön kannalta parantuneet; esimerkiksi tieliikenteen polttoaineiden rikkipitoisuus on lähes olematon.
- Rautatieliikenteessä sähköveto on lisääntynyt; osuus junakilometreistä oli 67 prosenttia vuonna 1996 ja 83 prosenttia vuonna 2008.⁴
- Vesiliikenteessä päästöjä vähentävää tekniikkaa ja puhtaampia polttoainelaitteita on otettu käyttöön ja myös aluskanta ja moottoritekniikka uudistuvat vähitellen.

Kuten edellä on jo todettu, energiankulutuksen ja kasvihuonekaasujen lisääntymistä ei ole voitu hillitä muiden päästöjen tavoin.

3.1.2 Päästöjen tuleva kehitys

VTT:n LIPASTO-järjestelmässä liikenteen päästöistä on tehty liikennemuodoittain liikennevälineiden ominaispäästöjen oletettuun kehitykseen ja oletettuihin liikenteen määriin perustuva kehitysarvio. Lukuihin tulee suhtautua varauksin taustaoletusten herkkyyksien vuoksi ja etenkin kun esitetty arviointijakso ulottuu vuoteen 2029.

Arvioitu päästökehitys on suotuisa haitallisten yhdisteiden osalta. Se pienentää päästöjen haittakustannuksia edelleen tulevaisuudessa. Sen sijaan energian kokonaiskulutus joko säilyy ennallaan tai kasvaa. Kaiken kaikkiaan kasvihuonekaasujen päästöt lisääntyvät.

Tieliikenne

Tieliikenteen päästömääriin vaikuttaa liikennemäärien ohella eniten tekninen kehitys, jota ohjataan päästönormeilla. Tulevaisuuden polttoaineista (esim. biopolttoaineet, vety ja sähkö) ja niiden käyttömääristä sekä vaikutuksista päästöihin ei ole vielä varmuutta.

LIISA esittää tieliikenteen päästöille kehitysarvion vuodesta 2009 vuoteen 2029:

- Häkäpäästöt (CO) vähenevät noin 185 000 tonnista noin 102 000 tonniin.
- Hiilivetyjen (HC) päästöt vähenevät noin 21 000 tonnista noin 12 000 tonniin.
- Typenoksidien (NO_x) päästöt vähenevät noin 44 000 tonnista noin 24 000 tonniin.
- Hiukkaspäästöt (PM) vähenevät noin 2 500 tonnista noin 1 100 tonniin.
- Metaanipäästöt (CH₄) vähenevät noin 1 200 tonnista noin 700 tonniin.
- Typpioksiduulin (N₂O) päästöt lisääntyvät noin 520 tonnista noin 665 tonniin.
- Rikkidioksidipäästöt (SO₂) lisääntyvät noin 70 tonnista noin 76 tonniin.
- Hiilidioksidipäästöt (CO₂) lisääntyvät noin 11,3 miljoonasta tonnista noin 11,7 miljoonaan tonniin.

⁴ Rautatietilasto 2001 ja 2009

Paikallisesti ja alueellisesti haitalliset tieliikenteen päästöt vähenevät siis edelleen. Kasvihuonekaasut (N₂O ja CO₂) sen sijaan lisääntyvät. Arvioihin liittyy kuitenkin epävarmuustekijöitä. Viime vuosina ilmastopoliittisen ohjauksen seurauksena tapahtunut dieselautojen yleistyminen on johtanut typen oksidien lisääntymiseen (aleneva trendi katkesi) ja samoin on käynyt pienhiukkasille. Nämä muutokset ovat haitallisia kaupunkiympäristöissä ja päästöt ovat haasteellisia ilmanlaadun raja-arvoille. Dieselajoneuvoissa ei ole yhtä tehokasta päästöjen vähentämistekniikka kuin bensiiniautoissa, tai se pitää ostaa erikseen lisävarusteena.

Edelleen, ajoneuvoja koskevien päästönormien tiukentuessa on niiden täyttäminen koko ajan vaikeampaa. Kenttäkokeissa on myös voitu havaita, että ajoneuvojen tyyppipihvyäksyntään ilmoitetut ominaispäästöt ovat alhaisemmat kuin vastaaville ajoneuvoille liikenteessä mitatut ominaispäästöt.

Energiankulutus voi toisaalta kääntyä alenevaksi, koska ajoneuvoteollisuudella on mahdollisuuksia tarjota energiatehokkuutta parantavia ratkaisuja sekä ilmastoneutraaleja käyttövoimavaihtoehtoja. Kehitys riippuu muun muassa siitä, minkälaisia ajoneuvoja kuluttajat hankkivat ja kuinka paljon niitä käytetään, sekä minkälaisia taloudellisia kannustimia kuluttajille asetetaan esimerkiksi energiaverotuksen, liikenteen hinnoittelun ja polttoaineiden hintakehityksen muodossa.

Rautatieliikenne

Rautatieliikenteen päästökehitykseen vaikuttaa ennen kaikkea dieselvedon määrän kehitys. Sähkövedon laskennallisiin keskimääriin päästöihin vaikuttaa yleisillä energiamarkkinoilla myytävän sähkön tuotantotapa. Rautatieliikenteen päästöihin vaikutetaan siis myös energiapolitiikan kautta. Päästöt pääsääntöisesti vähenevät hieman.

RAILI esittää rautatieliikenteen päästöille kehitysarvion vuodesta 2009 vuoteen 2029:

- Häkäpäästöt (CO) vähenevät noin 382 tonnista noin 373 tonniin.
- Hiilivetyjen (HC) päästöt vähenevät noin 133 tonnista noin 126 tonniin.
- Typenoksidien (NO_x) päästöt vähenevät noin 2 400 tonnista noin 2 300 tonniin.
- Hiukkaspäästöt (PM) säilyvät kutakuinkin ennallaan noin 70 tonnissa.
- Metaanipäästöt (CH₄) säilyvät kutakuinkin ennallaan noin 9 tonnissa.
- Typpioksiduulin (N₂O) päästöt säilyvät kutakuinkin ennallaan noin 6 tonnissa.
- Rikkidioksidipäästöt (SO₂) lisääntyvät noin 205 tonnista noin 216 tonniin.
- Hiilidioksidipäästöt (CO₂) vähenevät noin 29 000 tonnista noin 27 000 tonniin.

Vesiliikenne

Kauppamerenkulussa päästökehitykseen vaikuttaa liikenteen määrän muutosten ohella eniten IMO:n ohjaus, eli kansainvälisesti sovitut päästönormit. Eniten päästörajoitukset koskevat polttoaineiden rikkipitoisuutta, jota on jo alennettu Itämerellä 1 prosenttiin. Vuodesta 2015 alkaen enimmäispitoisuus laskee 0,1 prosenttiin, ja se poistaa kauppamerenkulun rikkipäästöt Itämereltä lähes kokonaan. Tällä on vaikutus myös polttoaineiden valintaan; kaasulla käyvien alusten käyttöönottoa pidetään yhtenä sopeutumiskeinona pyrittäessä välttämään polttoainekustannusten nousu.

Myös typenoksidien päästöjä ohjataan kansainvälisellä lainsäädännöllä. Lisäksi kansalliset säädökset sekä alan imagopaineet edistävät typen ja hiukkasten poistomethodien lisäämistä aluksiin sekä uuden moottoritekniikan käyttöönottoa. Aluskannan uudistuminen sekä mahdollinen kaasukäyttöisten alusten käyttöönotto vähentävät päästöjä.

Kansainvälisen vesiliikenteen ilmastopolitiikka ratkaistaan IMO:n piirissä. Tällä hetkellä ei tiedetä, millä tavoin ilmastopolitiikkaa tullaan toteuttamaan. Vesiliikenteen päästökauppa on yksi vaihtoehto (vrt. EU:n lentoliikenteen päästökauppa). Cancunin ilmastokokous joulukuussa 2010 jätti kansainvälisen liikenteen ilmastotoimenpiteet avoimiksi.

Suomen vesiliikenteen (veneily ja kauppamerenkulku) kokonaispäästöt sekä vähenevät että lisääntyvät. Vaikka kauppamerenkulun piirissä päästöjä kyetään vähentämään, kokonaispäästöjen vähentämistä jarruttaa veneilyn päästöjen suuri osuus (etenkin CO ja HC).

MEERI esittää kehitysarvion vuodesta 2009 vuoteen 2029:

- Häkäpäästöt (CO) lisääntyvät noin 27 000 tonnista noin 31 000 tonniin.
- Hiilivetyjen (HC) päästöt lisääntyvät noin 6 500 tonnista noin 7 400 tonniin.
- Typenoksidien (NOx) päästöt vähenevät noin 51 000 tonnista noin 44 000 tonniin.
- Hiukkaspäästöt (PM) säilyvät kutakuinkin ennallaan noin 1 600 tonnissa.
- Metaanipäästöt (CH₄) lisääntyvät noin 333 tonnista noin 347 tonniin.
- Typpioksiduulin (N₂O) päästöt lisääntyvät noin 76 tonnista noin 92 tonniin.
- Rikkidioksidipäästöt (SO₂) vähenevät noin 13 000 tonnista noin 2 000 tonniin (2015).
- Hiilidioksidipäästöt (CO₂) lisääntyvät noin 3 miljoonasta tonnista noin 3,6 miljoonaan tonniin.

3.2 Päästöt ja pitoisuudet taajamissa ja haja-asutusalueilla

Paikallisesti ja alueellisesti vaikuttavien yhdisteiden haittojen avaintekijöitä ovat pitoisuudet ja niille altistuvien ihmisten, materiaalien ja luontokohteiden esiintymistiheys kohdealueilla. Tällöin tarkastellaan ensisijaisesti häkää (CO), hiilivetyjä (HC), typenoksideja (NOx), hiukkasia (PM_{2,5} ja PM₁₀) ja rikkidioksidia (SO₂) sekä näiden yhdisteiden myötävaikutuksella syntyviä muita haitallisia yhdisteitä (mm. alailmakehän otsoni, sulfaatti ja nitraatti).⁵

Pitoisuuksien arvioinnin yhteydessä on eriteltävä, mikä osuus on peräisin kotimaan liikenteestä, energiantuotannosta, teollisuudesta, kaukokulkeumasta ja muista lähteistä.

⁵ Kasvihuonekaasuille (CO₂, N₂O ja CH₄) ei tarkastella pitoisuuksia, koska vaikutukset eivät riipu päästölähteen sijainnista tai päästöjen kohdentumisalueesta.

Terveysvaikutusten kannalta on olennaista määrittää missä päästöt aiheutuvat etenkin väestön tihentymiin nähden. Tie- ja rautatieliikenteen tarkasteluissa yksinkertaisena jakona on käytetty Suomen erittelyä taajamiin ja haja-asutusalueisiin. Vesiliikenteessä päästöjä on arvioitu sisävesillä, satamissa, rannikkoväylillä ja avomerellä.

3.2.1 Tieliikenteen päästöt

Taulukossa 7 esitetään vuonna 1996 tehty arvio taajamiin ja haja-asutusalueille kohdistuneista tieliikenteen päästöistä (paikallisesti ja alueellisesti haitalliset yhdisteet) ja sille vertailutietona LIISA -mallin esitys katuverkon ja maanteiden päästöjaumasta vuonna 2007.

On otettava huomioon, että vuoden 1996 luvuissa osa maanteiden päästöistä on oletuksin kohdistettu taajamiin teiden sijainnin mukaisesti. Vastaavaa kohdennusta ei ole nyt voitu tehdä, joten vuosien 1996 ja 2007 luvut eivät ole täysin vertailukelpoisia.

Luvuista voidaan päätellä, että häkäpäästöjen (CO) vähenemistä on olettavasti tapahtunut taajamissa voimakkaammin kuin haja-asutusalueilla. Samoin voidaan arvioida tapahtuneen hiilivedyille (HC). Typen oksidien (NO_x) päästösuhteet vaikuttavat varsin erilaisilta nykykäsityksen mukaan. Taajamissa aiheutuu oletettavasti paljon enemmän typen oksidien päästöjä kuin aiemmin oletettiin, vaikkakin kokonaispäästömäärä on vähentynyt merkittävästi. Hiukkaspäästöt (PM_{2,5}) ovat oletettavasti vähentyneet tasasuhteessa taajamissa ja haja-asutusalueilla. Rikkipäästöjä (SO₂) aiheutuu enää vähän varsinkaan taajamissa.

Taulukko 7. Suomen tieliikenteen päästöt taajamissa ja haja-asutusalueilla 1996 (Tielaitos 1999) sekä päästöt katuverkolla ja maanteilla 2007 (ilman kasvihuonekaasuja; VTT LIPASTO).

Tonnia	CO	HC	NO _x	PM	SO ₂
1996					
Taajamat	201 601	38 008	443	3 786	602
Haja-asutusalueet	93 913	17 004	70 109	3 771	573
Yhteensä	295 514	49 012	127 137	7 557	1 176
2007					
Kadut	94 231	13 060	15 669	967	27
Maantiet	113 904	11 129	34 787	1 653	46
Yhteensä	208 135	24 189	50 456	2 620	73

Päästöjen kohdentumisen (ja kohdentumisarvioiden) muutokset vaikuttavat tieliikenteen päästöjen haitallisuuteen taajamissa oletettavasti seuraavasti:

- häkä- ja hiilivetypäästöjen merkitys ilmanlaadun heikentäjänä on pienentynyt
- typen oksidien (ja muodostuvan nitraatin) merkitys ilmanlaadun heikentäjänä on suhteellisesti kasvanut.

Päästöjen pitoisuuksia voidaan arvioida ilmanlaadun seurantatietojen avulla sekä erillisin leviämismallinnuksin. Päästökustannusten mahdollisen uudelleen arvioinnin yhteydessä tulisi arvioida ilmanlaadun seurantajärjestelmiä siten, että voisiko niillä

korvata erilliset leviämismallinnukset päästölähteiden erittelyssä ja pitoisuuksien määrittelyssä.

Ilmanlaadun seuranta tehdään kaupungeissa ensisijaisesti terveydelle kriittisten päästöjen seuraamiseksi. Suurimmissa kaupungeissa pitoisuuksien säännöllistä seuranta on enemmän (kaupunkien omat seurantajärjestelmät) ja seuranta kattaa useampia yhdisteitä. Sen sijaan haja-asutusalueilla liikenteen päästöihin liittyen seurataan lähinnä rikkiä ja typpiyhdisteitä (Ilmatieteen laitoksen mittausasemat).⁶

Pitoisuuksille väestötasolla määriteltyjen raja-arvojen ylitykset tai alitukset eivät suoraan kerro aiheutuuko päästöistä terveyshaittoja. Ihmisyksilöiden reagoinnissa eri yhdisteille on merkittäviä eroja ja eritasoisille pitoisuuksille altistumisen kestolla on myös merkitystä.

Pitoisuuksien seuranta

Häkäpäästöjen pitoisuuksia seurataan kaupungeissa useissa mittauspisteissä. Pietarilan ym. (2002) mukaan liikenteen häkäpäästöt vähenivät merkittävästi 1990-luvulla, eivätkä raja-arvot ylittyneet kovin usein 2000-luvulle tultaessa. Raja-arvojen ylittymistä pidettiin kuitenkin mahdollisena, koska olosuhteet (liikenteen määrä, kylmäkäynnistykset ja kylmänä ajo) vaikuttavat häkäpäästöjen syntyyn. Ilmanlaatuportaalin mukaan 2000-luvulla hiili-monoksidipitoisuudet ovat pysyneet raja- ja ohje-arvojen alapuolella kaikilla mittausasemilla.⁷

Rikkidioksidin pitoisuudet ovat yleensä peräisin teollisuudesta. Maaliikenteen polttoaineiden rikkipitoisuudet ovat erittäin alhaiset (lähes nolla). Itämerellä vesiliikenne on kuitenkin merkittävä rikin lähde rikkipitoisten polttoaineiden vuoksi. Ilmanlaatuportaalin mukaan Suomessa rikkidioksidipitoisuudet ovat pysytelleet terveyden suojelemiseksi annettujen raja-arvojen alapuolella.

Typpidioksidin pitoisuudet ovat ongelma etenkin kaupunkien katukuiluissa ja ruuhkien aikana. Ilmanlaatuportaalin mukaan kaupunkien ilmanlaadun mittauksissa pitoisuuksien väheneminen alkaa näkyä katalysaattoriautojen yleisyyden vuoksi.

Hiukkaspitoisuuksien erityisiä episodeja esiintyy kaupungeissa aika ajoin (katupölykausi). Hiukkasista osa on peräisin pakokaasuista (PM_{2,5}) ja osa mm. hiekoitushiekasta sekä rengas- ja asfalttipölystä.⁸ Ilmanlaatuportaalin mukaan keväisin hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudet ylittävät raja-arvon 50 mikrogrammaa kuutiometrissä ilmaa varsin yleisesti lähes kaikilla mittausasemilla. Ylityksiä saa olla kullakin asemalla 35 kpl vuodessa; määrä ylittyy harvoin. Pienhiukkasten mittausasemia on Suomessa yli 20 kappaletta. Esimerkiksi Helsingin Kalliossa hiukkaspitoisuuksia on seurattu säännöllisesti tähän mennessä noin 10 vuotta.

⁶ <http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu/ilatausta.html>

⁷ <http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/komponentit/co.html>

⁸ LIPASTO ilmoittaa vain pakokaasuperäiset hiukkaset ja haittakustannusten laskenta noudattaa samaa rajausta.

3.2.2 Rautatieliikenteen päästöt

Sähkövetoisesta rautatieliikenteestä ei aiheudu suoria päästöjä. Päästöjä tulee sähköenergian tuotannon kautta. Vesi-, tuuli- ja ydinvoima eivät lisää haitallisia yhdisteitä ilmassa. Sähkön tuotanto biopolttoaineilla, turpeella, maakaasulla ja hiilellä aiheuttaa päästöjä savukaasujen puhdistustekniikoista huolimatta.⁹

Keskimääräisen sähköntuotantojakauman kautta lasketut sähkövetoisen rautatieliikenteen päästöt (paikallisesti ja alueellisesti haitalliset yhdisteet) ovat kokonaisuutena vähäiset (taulukko 8). Liikennöitsijä voi lisäksi ostaa sähköntuottajilta päästötöntä sähköä (vesi-, tuuli- ja ydinvoima).¹⁰ Sähkövetoinen rautatieliikenne lisää haitallisten yhdisteiden pitoisuuksia marginaalisesti, eikä sen päästökustannuksia välttämättä tarvitse enää arvioida jatkossa.

Dieselvetoisen rautatieliikenteen päästömäärät eivät myöskään ole suuria (taulukko 8) ja päästöt aiheutuvat pääasiassa taajamien ulkopuolella, jossa päästöille altistuu vain vähän ihmisiä. Päästöillä voi silti olla merkitystä pitoisuuksille taajamissa, varsinkin ratapihojen dieselvetoisen vaihtotyön vuoksi.

Dieselveto voi myös lisääntyä tavaraliikenteessä. Uusille liikennöitsijöille dieselvedon käyttö on helpompaa ja halvempaa kuin sähköveto. Dieselvetoisen rautatieliikenteen päästökustannuksia on perusteltua arvioida myös jatkossa.

Taulukko 8. Suomen rautatieliikenteen päästöt sähkö- ja dieselvedon erittelynä vuonna 2007 (VTT LIPASTO, Raili).

Tonnia	CO	HC	NOx	PM	SO ₂
Sähköveto	118	15	235	26	193
Dieselveto	325	148	2 511	52	2
Yhteensä	444	162	2 746	78	195

3.2.3 Vesiliikenteen päästöt

Vesiliikenteen päästöistä aiheutuvat haitalliset pitoisuudet kohdistuvat ihmisiin painokkaammin satamissa ja satamaväylillä mutta vähemmän rannikkoväylillä ja merellä (paitsi kulkeuman kautta). Suomessa sisävesien kauppamerenkulku on vähäistä ja osavuotista.

Vesiliikenteen paikallisesti ja alueellisesti haitallisia yhdisteitä on arvioitu aiheutuvan nykyään satamissa (laiturit ja satamaväylät) jonkin verran enemmän kuin vuonna 1996 (taulukko 9). Vastaavasti väylillä päästöjä aiheutuu aiempaa käsitystä vähemmän. Väestöaltistuksen suhteen päästöjen kohdentumista koskeva käsitys on muuttunut haitallisempaan suuntaan.

⁹ Biovoima saattaa korvata tulevaisuudessa hiiltä ja maakaasua.

¹⁰ VR Oy on ostanut pelkästään vesivoimalla tuotettua sähköä vuoden 2009 alusta alkaen.

Taulukko 9. Suomen vesiliikenteen päästöjen jakauma 1996 (Merenkulkulaitos 2000) ja 2007 (VTT LIPASTO, MEERI; ilman risteilyalusten päästöjä).

Tonnia	CO	HC	NO _x	PM	SO ₂
1996					
Satamat; laituri ja satamaväylä	448	167	5 775	131	2 131
Väylät	2 793	1 350	52 606	1 303	17 046
Yhteensä	3 241	1 517	58 381	1 434	19 177
2007					
Satamat; laituri ja satamaväylä	682	241	7 513	191	2 638
Väylät	2 691	1 286	46 088	1 261	15 145
Yhteensä	3 373	1 527	53 601	1 452	17 783

3.3 Väestön tiheys taajamissa ja haja-asutusalueilla

Yleinen väestönkehitys, maankäytön suunnittelu ja väylien kehittäminen vaikuttavat siihen, kuinka ihmispopulaatiot altistuvat liikenteen päästöille taajamissa ja haja-asutusalueilla. Seuraavia yleisiä kehitystrendejä tunnetaan:

- Väestö lisääntyy suurimmissa taajamissa ja niiden liepeillä. Taajamissa altistuminen päästöille voi siten lisääntyä tai se vähenee hitaammin kuin mitä tekninen kehitys pystyy vähentämään päästöjä. Taajamissa ja niiden ääressä myös liikenne lisääntyy.
- Haja-asutusalueilla asuva väestö vähenee, tekninen kehitys vähentää päästöjä, ja myös liikenne vähenee. Ihmisiin kohdistuvat haitat oletettavasti vähenevät.
- Rautatieliikenteen sähköistyminen vähentää altistumista suorille päästöille.
- Eri liikennemuodoilla voi tapahtua merkittäviä paikallisia muutoksia, kuten esimerkiksi tavaraliikenteen siirtyminen Helsingin keskusta-alueen satamista Vuosaaren satamaan (muutos vaikuttaa niin tie-, rautatie- kuin vesiliikenteeseen).

Oletettavasti väestönkehityksen ja aluerakenteellisen kehityksen myötä haja-asutusalueiden päästöjen painoarvo alenee ja taajamapäästöjen painoarvo lisääntyy.

Tilastokeskuksen mukaan vuoden 2005 lopussa 4 388 000 henkilöä eli 84 prosenttia suomalaisista asui taajamissa.¹¹ Taajamaväestön määrä kasvoi 124 000 henkilöllä vuodesta 2000. Taajamia oli 745. Neljä viidestä suomalaisesta asui alueella, joka on 2,4 prosenttia koko maan maapinta-alasta. Yli puolet taajamista on alle tuhannen asukkaan taajamia. Yli 20 000 asukkaan taajamia on neljä prosenttia kaikista taajamista. Yli 100 000 asukkaan taajamia on kuusi: Helsingin, Tampereen, Turun, Oulun, Lahden ja Jyväskylän keskustaajamat.

¹¹ Tilastollinen taajama on vähintään 200 asukkaan asutuskeskittymä, jossa asuinrakennusten välinen etäisyys on enintään 200 metriä. Rajaukseen eivät vaikuta hallinnolliset, kuten kunnan tai läänin, rajat. Tilastokeskus määrittää taajamat viiden vuoden välein.

4 Vaikutusten arvioinnin kehitys

4.1 Vaikutuspolkumenetelmä

Vaikutuspolkumenetelmä kehitettiin Euroopan komission ExternE –tutkimushankkeissa 1990-luvun puolivälin jälkeen. Ensimmäiset hankkeet keskittyivät energiantuotannon päästökustannusten määrittämiseen. Niiden jälkeen tehtiin liikennesektorin sovellus ExternE Transport (Friedrich & Bickel 2001). Vuonna 2004 menetelmään tehtiin täydennyksiä NewExt -projektissa (IER 2004a). Viimeisin kehittämisraportti on vuodelta 2005 (Bickel & Friedrich 2005) ja jatkokehittämistä on tehty EC4MACS-tutkimusohjelmassa (European Consortium for Modelling of Air Pollution and Climate Strategies).¹²

Vaikutuspolkumenetelmä vakiinnutti asemansa liikenteen päästöjen tarkastelu- ja arvottamistapana. Liikennesektorin vaikutuspolkumenetelmää sovellettiin Suomessa jo sen kehittämisvaiheissa (Suomi osallistui kyseisiin tutkimushankkeisiin). Menetelmän soveltaminen on saavuttanut liikennesektorilla suuremman suosion kuin energiasektorilla.

Menetelmällä on arvioitu ja arvotettu liikenteen päästökustannuksia kansallisella tasolla useissa maissa ja menetelmää on käytetty yleiseurooppalaisissa tarkasteluissa, joissa on määritetty liikennesektorin vaikutustarkastelun suosituksia (mm. IER 2004b; CE Delft 2008). Menetelmää hyödynnettiin myös CAFE -ohjelman vaikutusarvioinneissa (Clean Air for Europe; AEAT 2005a ja 2005b).¹³

Menetelmässä inventoidaan ensin liikenteen osuus tarkastelualueen (esimerkiksi Suomen talousalue) kokonaispäästöistä ja määritellään alueellisesti ja paikallisesti haitallisten päästöjen pitoisuudet (vastuusektoreineen) eri liikenneympäristöissä. Päästö- ja pitoisuusmäärittelyjen jälkeen arvioidaan eri yhdisteiden haittavaikutuksia vaikutuspolkumenetelmällä; erikseen terveysvaikutukset sekä luonto- ja materiaali-vaikutukset. Kasvihuonekaasujen arvo arvioidaan eri menetelmin.

Terveysvaikutusten arvottaminen tehdään epidemiologisesti määritetyille altistusvaikutus -funktioille. Se on kullekin erilaiselle vaikutukselle useimmiten muotoa:

$$\text{Muutos hyödykkeessä} = \text{korrelaatio} \cdot \text{pitoisuus} \cdot \text{altistuvan hyödykkeen/kohteen määrä}$$

Esimerkiksi pienhiukkasten aiheuttama aikuisten astmaatikkojen lisääntynyt yskä arvioidaan seuraavasti:

$$\text{Yskäpäivien määrä} = \text{korrelaatio} \cdot \text{PM}_{2.5}\text{-pitoisuus} \cdot \text{aikuistasmaatikkojen osuus väestöstä} \cdot \text{väestö}$$

Epidemiologiset tutkimukset, joihin alkuperäisten selvitysten altistus-vaikutus-funktioiden (korrelaatiokertoimien) määrittelyt perustuivat, olivat peräisin vuosilta

¹² <http://www.ec4macs.eu/>

¹³ <http://www.cafe-cba.org/>

1987–1997 (noin tusina kansainvälistä tutkimusta; ks. esimerkiksi Tielaitos 1999). Epidemiologista tutkimusta on tehty lisää ja käsitykset ovat jonkin verran muuttuneet (taulukko 10). Epidemiologisen tutkimustiedon jalostaminen altistus-vaikutus-funktioiksi vie kuitenkin aikaa, koska tuloksista on ensin saatava riittävän yksimielinen tieteellinen näkemys.

Luonto- ja materiaali-vaikutusten vaikutuspolkutarkastelu perustuu eri lähteistä kootuihin vaikutustietoihin. Tarkastelu ei ole yhtä systemaattisesti funktiomuotoista kuin terveysvaikutusten tarkastelu.

Taulukko 10. ExternE:ssä huomioon otetut liikenteen päästöjen terveysvaikutukset; sairastavuus ja kuolleisuus (Bickel & Friedrich 2005; Mellin & Nerhagen 2010).

Vaikutus	Altistujat	Yhdiste (kemiallisen muodostuksen jälkeen vaikuttava yhdiste)
Hengityselinsairaudet	Astmaatikot; aikuiset ja lapset	PM ₁₀ , O ₃
	Kaikki ihmiset	PM _{2,5} , PM ₁₀ , O ₃ , NO ₃ , SO ₄
Sydän- ja verisuonisairaudet	Yli 65-vuotiaat	PM ₁₀ , CO
	Kaikki ihmiset	PM _{2,5} , PM ₁₀ , NO ₃ , SO ₄
Syöpä	Kaikki ihmiset	Bentseeni, benzo(a)pyreeni, 1,3 butadieeni, dioksiinit, formaldehydi, arseeni, kadmium, kromi, nikkeli

Muun muassa seuraavia uusia näkemyksiä on esitetty terveysvaikutusten osalta (Bickel & Friedrich 2005; Mellin & Nerhagen 2010):

- Typen oksidien terveysvaikutuksista ei ole pitävää todistetta eikä siten ole perusteita määrittää sille myöskään terveyshaittoihin liittyviä kustannuksia. Toisaalta typen oksideilla on yhteys muiden terveydelle haitallisten yhdisteiden syntymiseen.
- Aikaisemmin rikkidioksidille ei määritetty suoria terveysvaikutuksia. Tuorein tutkimus viittaa siihen, että yhteys hengityselin- ja sydänsairauksiin olisi olemassa
- Pienhiukkasten (PM_{2,5}) erityinen haitallisuus terveydelle on selvinnyt tarkemmin.
- Muualta kuin pakoputkista peräisin olevien isojen hiukkasten (PM_{2,5–10}) terveysvaikutuksista on jonkin verran näyttöä. Kaikkein suurimmat hiukkaset eivät kuitenkaan vaikuta olevan yhteydessä sydänsairauksiin.
- Häkäpäästöille on löydetty iäkkäisiin ihmisiin kohdistuvia haittavaikutuksia.
- Typen oksideista muodostuvien nitraattien terveyshaitat saattavat olla vähäisempiä kuin ExternE:ssä oletettiin.
- Rikkidioksidista muodostuvan sulfaatin terveyshaitat saattavat olla vähäisempiä kuin ExternE:ssä oletettiin.
- Typen oksideista ja muista yhdisteistä muodostuvan otsonin (O₃) terveysvaikutuksia on täsmennetty; mm. lyhytaikaisen ja pitkäaikaisen altistuksen väliset erot.
- Hiilivety-yhdisteiden tarkasteluun on tehty pieniä muutoksia; eri yhdisteiden haitallisuus on muuttunut voimakkaaksi tai lievemmäksi.

- Ruotsissa on arvioitu, että syöpää aiheuttavat dioksiinit eivät tule enää ensisijaisesti liikenteestä vaan ruuasta.
- Syöpää aiheuttavia raskasmetalleja on tutkittu lisää.
- Lapsiin kohdistuvia terveysvaikutuksia käsiteltiin aiemmin vain rajallisesti. Aihetta on tutkittu viime vuosina lisää.
- Rikkidioksidin, typen oksidien ja muiden yhdisteiden sekä hiukkasten kautta tapahtuvien kokonaisvaikutusten tarkastelussa on pyritty vähentämään päälekkäisen laskennan riskiä.

Tässä esiselvityksessä ei ole voitu arvioida epidemiologiassa tapahtuneiden muutosten vaikutuksia Suomen päästökustannusten yksikköarvoille, vaan tämä tulisi tehdä tarkemmin selvityksin. Oletettavasti joissain vaikutustyypeissä vaikutusten vakavuus on lieventynyt, mutta toisaalta taas joitain uusia vaikutuksia tulisi lisätä tarkasteluun.

4.2 Elinympäristön terveysriskit Suomessa

Liikenteen pakokaasujen kansanterveydellistä kokonaismerkitystä ei voida erottaa suoraan kansanterveyden katsauksista tai terveystilastoista. Niitä tutkimalla on kuitenkin mahdollista saada käsitys kansanterveyden tilasta, ja niihin raameihin myös liikenteen pakokaasujen haittavaikutusten tulee sijoittua.

Hänninen ym. (2010) esittää tiivistetyn arvion Suomen keskeisistä ympäristöterveysriskeistä. Arvio keskittyy kansanterveydellisesti merkittävimpiin altisteisiin vuoden 2006 tilanteessa. Keskeisiksi altisteiksi määriteltiin:

- Elinympäristö: Ulkoilman pienhiukkaset ja otsoni, auringon UV-säteily, sisäilman radon, passiivinen tupakointi ja ympäristömelu.
- Työympäristö: Ammatti-ihotautien, astmariskin sekä keuhkohtaumataudin lisääntyminen, melu, kvartsipöly, diesel ja hitsaus.

Mainituista altisteista liikenteeseen liittyvät pienhiukkaset ja otsoni (muodostuu typen oksidien ja hiilivetypäästöjen myötävaikutuksesta) sekä melu.¹⁴ Taulukossa 11 on esitetty päästöjä vastaavat altistus- ja vaikutustiedot.

¹⁴ Melu noteerataan selvästi aiempaa korkeammalle. Liikenne aiheuttaa pääosan Suomen ympäristömelu-altistuksesta. Muiden melulähteiden (mm. teollisuus ja ampumaradat) merkitys on vähäinen.

Taulukko 11. Liikenteen päästöihin liittyvät tärkeimmät kansanterveyshaitat lähteessä Hänninen ym. (2010).

Altiste	Altistuneita	Vaikutus	Tapauksia vuosittain
Ulkoilman pienhiukkaset	Koko väestö	Ennenaikainen kuolleisuus	1 800
	3,6 milj. (yli 27-vuotiaat)	Kroon. keuhkoputken tulehdus	1 200
	3,5 milj. (15–64-vuotiaat)	Vakava oirepäivä	2,1 milj.
Ulkoilman otsoni	3,4 milj. (yli 30-vuotiaat)	Menetetty elinvuosi	90
	3,0 milj. (18–64-vuotiaat)	Oirepäivä	240 000
	0,61 milj. (5–14 -vuotiaat)	Yskäpäivä	400 000
	0,61 milj. (5–14 -vuotiaat)	Alahengitysteiden oirepäivä	70 000

Huomionarvioista on, että liikenteen osuus Suomen pienhiukkaspäästöistä oli vuonna 2007 vain noin 11 %, ja siitä yli puolet on vesiliikenteen päästöjä, joista suuri osa aiheutuu merellä. Liikenne ei myöskään ole ainoa lähde otsoninmuodostukseen vaikuttavista häkä- ja typen oksidipäästöistä, vaikkakin tieliikenne on merkittävä päästöjen aiheuttaja. Liikenteessä ja varsinkin tieliikenteessä hiukkas-, häkä- ja typen oksidipäästöt ovat vähentyneet merkittävästi.

Katsauksessa ei ole mukana vähäisempiä terveysvaikutuksia, joita vaikutuspolkumetelmä ottaa huomioon (mm. erilaiset hengitystieoireilut). Tarkastelu kuitenkin nostaa esille kysymyksen tulisiko liikenteen päästöjen kansanterveydellistä merkitystä pohtia uudestaan nykyisten päästömäärien ja niihin liittyvien kehitysoletusten valossa.

Sosiaali- ja terveysministeriön katsaus Suomen sosiaaliseen ja terveystilanteeseen ei mainitse liikenteen päästöjä kasvihuonekaasuja lukuun ottamatta (Sosiaali- ja terveysministeriö 2010).

Kuolinsyytilastoista ei voida muodostaa suoraa yhteyttä liikenteen päästömääriin ja niiden muutoksiin. Kuitenkin liikenteen päästöillä on merkitystä eri kuolinsyyden yleisyydessä.

Tilastokeskuksen kuolinsyytilastoissa ilmoitetaan noin 22 000 verenkiertoelinten sairauksiin kuollutta vuonna 1996. Määrä oli noin 20 300 vuonna 2008. Päästöjen kuolleisuusvaikutukset ovat merkittävimmät juuri sydän- ja verenkiertoelinten sairauksissa.

Edelleen, vuonna 1996 kaiken kaikkiaan noin 4 200 hengityselinsairauksiin kuollutta,¹⁵ jonka jälkeen määrä laski tasaisesti ja vuonna 2008 oli noin 2 000 henkeä. Suurin vähenemä tapahtui keuhkokuume- ja keuhkokuolemien määrässä, joka oli vuosina 1996–2008 sen sijaan vakaa, noin sata henkeä vuodessa. Samoin keuhkoputkentulehduksiin ja keuhkolaajentumaan kuolleiden määrä oli noin 1000–1100 henkeä vuo-

¹⁵ <http://www.stat.fi/til/ksyyt/2007/index.html>

nessa. Liikenteen päästöillä on kuitenkin oletettu olevan suurempi merkitys hengityselimiin liittyvässä oireilussa kuin kuolleisuudessa.

Tieliikenteen päästökustannusselvityksissä (Tielaitos 1999) todettiin, että liikenteen päästöt (hiukkaset, sulfaatti ja nitraatti) aiheuttivat yhteensä 4 301 menetettyä elinvuotta ja päästöt (hiukkaset, sulfaatti, nitraatti ja rikkidioksidi) aiheuttivat eliniän lyhenemisen (vajaalla vuodella) yhteensä 143 tapauksessa.

Haahtela ym. (2006) mukaan astmaatikkojen osuus väestöstä on kasvanut mutta oireiden vakavuus on lieventynyt ja hoito- ja poissaolokustannusten nousu on voitu esittää.¹⁶

Eräiden yhdisteiden haittavaikutuksia

Häkä (CO – hiilimonoksidi) aiheuttaa kohonneina pitoisuuksina päänsärkyä, pahoinvointia ja hengenahdistusta.

Typen oksidit (NOx) ovat hengitysteitä ärsyttäviä kaasuja. Luonnossa ne aiheuttavat rehevöitymistä ja happamoitumista. Typpidioksidi vaikuttaa otsonin muodostumisessa.

Rikkidioksidi (SO₂) on hapan kaasu, joka on haitallista sekä ihmisten terveydelle (sulfaatin muodostuminen) että luonnolle (happamoituminen).

Hiukkasiin (PM) kuuluu niin pölyä kuin terveydelle vaarallisia pienhiukkasia. Tutkimustiedon mukaan hiukkasten haitallisuus lisääntyy kun koko pienenee. Hengitettävistä hiukkasista puhutaan kun hiukkaskoko on 10 mikrometriä tai alle. Suurten hiukkasten terveyshaitat ovat lyhytaikaisia, koska ne poistuvat ylähengitysteistä. Silti ne aiheuttavat materiaalihaittoja, viihtyvyshaittoja ja hengitysteiden ärsytysoireita. Pienhiukkaset ovat kooltaan alle 2,5 mikrometriä. Ne pääsevät elimistöön hengityksen ja keuhkojen verenkierron kautta ja ne aiheuttavat oireita etenkin hengitys- ja sydänsairaille. Terveysvaikutuksista on useissa lähteissä todettu tiedettävän liian vähän.

VOC -yhdisteitä eli haihtuvia orgaanisia yhdisteitä on satoja. Niiden aiheuttamia terveyshaittoja ovat mm. silmien ja limakalvojen ärsytysoireet sekä päänsärky.

Lähteet mm.: www.ilmanlaatuportaali.fi sekä Hengitysliitto

4.3 Terveysvaikutusten arvo

4.3.1 Sairaanhoidon kustannukset

Liikenteen päästöjen terveysvaikutukset kuormittavat terveydenhuoltojärjestelmää ja lisäävät verojen kantamistarvetta kustannusten kattamiseksi. Yleisemmin tarkasteltuna Suomen terveydenhuollon kokonaiskustannukset ovat nousseet voimakkaasti. Vuonna 1996 terveydenhuoltomenot olivat yhteensä 10,9 mrd € ja vuonna 2008 ne olivat 15,5 mrd € (vuoden 2008 hintaan; Matveinen 2010). Menot kasvoivat kaikissa toimintojen pääluokissa. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että nimenomaan liikenteen päästöistä aiheutuvan sairastamisen kustannukset olisivat nousseet. Siihen vaikutta-

¹⁶ Astmaohjelma 1994–2004. Sosiaali- ja terveysministeriö.

vat yhtäältä liikenteen päästöjen kehitys ja toisaalta terveydenhuoltojärjestelmän muutokset.

Liikenteen päästöihin liittyvästä sairastavuudesta aiheutuvat hoitokustannukset ovat voineet muuttua mm. seuraavista syistä:

- oireilun ja sairastavuuden kokonaismäärien muutokset
- oireilun ja sairauksien vakavuusasteen muutokset
- diagnosointi- ja hoitotapojen muutokset sekä
- lääkkeiden käyttömäärien ja hintojen muutokset.

Esimerkiksi astmaohjelman 1994–2004 jälkiarvioinnissa todettiin, että vuonna 1993 astmapotilaiden suorat vuosikustannukset (lääkärikäynnit, vuodeosastopäivät, lääkitys ja työkyvyttömyys) olivat 1 611 €/potilas vuonna 1993 ja 1 031 €/potilas vuonna 2003 (Haahtela ym. 2006). Hoitoa oli kyetty tehostamaan ja toisaalta oireiden laatua oli kyetty lieventämään.

Terveydenhuollon yksikkökustannusselvityksistä (Hujanen 2003; Hujanen ym. 2006) päätellen perusterveydenhuollon ja vuodeosastohoidon kustannuskehitys (yksikkökustannukset per hoitotapahtuma) on 2000-luvulla kutakuinkin vastannut yleistä kustannuskehitystä. Sen sijaan erikoisterveydenhoidon kustannukset ovat nousseet voimakkaasti, jopa kymmeniä prosentteja esimerkiksi hoitopäivää kohti laskettuna.

Päästöjen aiheuttamien lievempien oireiden hoitokustannusten taso (yksikkökustannukset per hoitotapahtuma) lienee suhteellisesti ottaen kutakuinkin entisellään, mutta vakavampiin vaikutuksiin liittyvän sairaanhoidon kustannustaso (yksikkökustannukset per hoitotapahtuma) on oletettavasti korkeampi kuin alkuperäisten selvitysten aikaan 1990-luvun lopulla.

4.3.2 Menetetyn työn arvo ja sairastamisen hyvinvointivaikutukset

Yksilöön kohdistuvat terveyshaittojen taloudelliset vaikutukset koostuvat menetetyistä ansioista ja sen vuoksi heikkenevän kulutuksen aineellisista hyvinvointivaikutuksista sekä aineettoman hyvinvoinnin heikkenemisestä. Näitä tekijöitä tulee tarkastella erikseen, mutta arvot voidaan viime kädessä esittää myös yhdessä. Erilaisten episodien aiheuttamat ansioiden ja tuotannon menetykset sekä aineettoman hyvinvoinnin heikentyminen vaihtelevat lyhytaikaisesta lievästä oireilusta aina pysyvään työ- ja toimintakyvyn heikkenemiseen.

Sairauksien aiheuttamia menetetyt työn arvoa ja hyvinvointivaikutuksia (inhimillinen kärsimys) on arvioitu Suomessa maksuhalukkuustutkimuksella alkuperäisten päästökustannusselvitysten yhteydessä (taulukko 12). Näillä arvoilla korvattiin ja täydennettiin EU-tutkimuksissa määritettyjä vastaavia yksikköarvoja.

Taulukko 12. Terveystaittojen taloudellinen arvo; maksuhalukkuus ja reaalikustannukset, vuoden 1996 hinnoissa (Gynther ym 1998).

Oire	Yksikkö-arvo, €	Sairaanhoitokulujen ja menetetyn työn osuus, %	Hyvinvoinnin heikkenemisen arvo (osuus), €
Oireilupäivä	16	35	10
Astmakohtauspäivä	23	17	19
Rajoitettu toimintapäivä	94	63	35
Ensiapukäynti	211	80	42
Sairaalapäivä	1 764	85	265
Lapsen yskäpäivä	35	19	28

Mahdollisessa päivittämisselvityksessä on syytä arvioida menetetyn ansion ja työn arvoa uudelleen niin työntekijöiden kuin työnantajien näkökulmasta. Talouskasvun myötä näiden arvot ovat oletettavasti nousseet. Arvioissa tulee kuitenkin välttää ansioiden ja tuotannon arvon päällekkäistä laskentaa.

Tarkastelut voidaan tehdä taloustilastojen avulla (keskimääräiset ansiot, työnantajien palkkakustannukset sekä tuotantotilastot), ottaen mahdollisuuksien mukaan huomioon poissaolojen ominaispiirteet (työntekijän korvaamisen lisäkustannukset). Tarkasteluissa tulee ottaa huomioon terveysvaikutusten kohdentuminen eri ikäryhmiin, ts. osa oireita saavista ja sairastavista on työelämän ulkopuolella.

Ilman tuoreempia suomalaisia tutkimustuloksia ei voida sanoa varmuudella, kuinka suomalaisten aineettoman hyvinvoinnin arvostus on kehittynyt. Yleisesti kuitenkin oletetaan, että elintason nousu lisää hyvinvoinnin arvostusta, ja siten myös terveysongelmien aiheuttamat inhimilliset menetykset koetaan tänä päivänä aiempaa merkittävämmiksi. Euroopassa on tehty arvottamistutkimuksia, joita voidaan hyödyntää arvioitaessa sairastamisen inhimillisiä hyvinvointivaikutuksia (esim. IER 2004b ja Nerhagen ym 2005).

4.3.3 Menetetyn elinvuoden ja tilastollisen elämän arvo

Menetetyn elinvuoden arvo VOLY (value of life year lost) ja tilastollisen menetetyn elämän arvo VSL (value of statistical life) ovat keskeisiä tekijöitä arvotettaessa päästöihin liittyvän akuutin ja kroonisuuden kuolleisuuden taloudellisia seuraamuksia. Suomessa arvoja on määritelty muun muassa alkuperäisissä päästökustannusselvityksissä ja Tiehallinnon onnettomuuskustannusselvityksissä.

IER (2004b) muodosti tarkistetut arvot seuraavasti (vuoden 2003 hinnoissa)¹⁷:

- Menetetyn elinvuoden suositeltu laskenta-arvo VOLY on epävarmuudet huomioon ottaen mediaaniarvon mukaisesti 50 000 € (enintään 125 250 €).
- Tilastollisen (menetetyn) elämän suositeltu laskenta-arvo on epävarmuudet huomioon ottaen 1 052 000 € (enintään 2 258 000 €).

¹⁷ Taustalla on eurooppalaisia riskien vähentämisen maksuhalukkuusselvityksiä sekä ansionmenetysten kartoituksia.

Alun perin ExternE-tutkimuksissa arvot olivat korkeammat (tarkistuksissa arvoja alennettiin). Esitetyt tarkistettut arvot ovat tarkoitettu yleiseurooppalaisiin vaikutus-tarkasteluihin. AEAT (2005a) määrittelee erikseen vielä erikseen VSL -arvot lapsikuole-leisuudelle, suositellen kertoimiksi 1–2 aikuisten arvoon nähden.

Suomalaisissa arvottamistutkimuksissa käytettiin alkuperäisten ExternE-tutkimusten arvoja. Vuoden 2002 päästökustannusten päivityksessä käytettiin indeksipäivitettyjä arvoja (vuoden 2000 hinnoissa; Hämekoski ja Tervonen 2003):

- Menetetty elinvuosi, kroonisesti sairas, VOLY 96 500 €
- Menetetty elinvuosi, akuutti tapaus, VOLY 165 700 €.
- Syöpäriski (kuolema), VSL 1 180 000 €.

Päästökustannusten yksikköarvoja on korotettu elinkustannuksilla tieliikenteen ajo-kustannusten päivityksissä (2005 ja 2010), ja siinä yhteydessä kaikkien osatekijöiden arvo on noussut elintason yleistä kehitystä mukaillen.

Menetetyn elinvuoden arvot (VOLY) ovat korkeahkoja ottaen huomioon IER:n (2004b) suositukset. Menetetyn elämän arvo (VSL) vastaa IER:n suositustasoa. Lapsikuollei-suutta ei ole Suomessa otettu erikseen huomioon. Suomessa ei ole käytettävissä omia kuolemanriskin vähentämisen tai elinvuosien lisäämisen subjektiiviseen arvoon liittyviä tutkimustuloksia.

Mainittujen laskentatekijöiden mahdollisissa tarkemmissa jatkotarkasteluissa on otettava huomioon, miltä osin arvot määräytyvät esimerkiksi ansio- tai tuotantope-rusteisesti ja miltä osin aineettoman hyvinvoinnin muutosten pohjalta. Eri ikäryhmis-sä näiden tekijöiden merkitys on erilainen.

4.4 Luonto- ja materiaali-vaikutusten arvo

Liikenteen päästöjen (erityisesti SO₂, NO_x ja HC; happamoittava laskeuma ja otsonin muodostus) voimakkaan vähenemisen myötä vaikutukset satoihin, metsän kasvuun ja rakennusmateriaalien rapautumiseen ovat pienentyneet. Päästöt edelleen vähenevät jatkossa. Vaikutusten arviointiin liittyy lisäksi epävarmuuksia. Näin ollen näiden re-surssien jatkotarkastelun tarvetta tulee harkita erillisinä asiantuntija-arvioina. Mikäli merkitys on tänä päivänä hyvin vähäinen, voidaan vaikutusten tarkastelusta luopua.

Alkuperäisissä selvityksissä tieliikenteen päästöjen (otsonin muodostus) aiheutta-miksi Suomen satovaurioiksi määriteltiin noin 4 M€/vuosi (vuoden 1997 hinnoissa; Tielaitos 1999). Vesiliikenteen päästöjen vastaava vaikutus oli noin 1,6 M€/vuosi (Me-renkululaitos 2000). Viljeltyjen maataloustuotteiden tuottajahinnat (€/kg; esimer-kiksi viljat, rypisi ja rapsi) ovat nousseet alkuperäisten päästökustannus selvitysten jälkeen ehkä hieman yleistä kustannuskehitystä nopeammin,¹⁸ mutta haitallisten päästöjen määrä on vähentynyt.

Alkuperäisissä selvityksissä tieliikenteen päästöjen (happamoittava laskeuma ja ot-sonin muodostus) aiheuttamiksi Suomen metsien kasvun tappioiksi määriteltiin noin 7 M€/vuosi (vuoden 1997 hinnoissa; Tielaitos 1999). Vesiliikenteen päästöjen vastaa-

¹⁸ <http://maataloustilastot.fi/>

va vaikutus oli noin 3,4 M€/vuosi (Merenkulkulaitos 2000). Metsien taloudellinen tuottoarvo (€/kuutio) metsän omistajille on alentunut selvästi päästökustannusselvitysten jälkeen¹⁹, ja haitallisten päästöjen määrä on vähentynyt.

Päästöille altistuvien rakennusmateriaalien määrä on oletettavasti lisääntynyt ja siten niiden kokonaisarvo on noussut, mutta rapautumista aiheuttavien päästöjen määrä on vähentynyt.

Erillisen kysymyksen muodostaa erilaisten liikenteeseen liittyvien hiukkasten kokonaismäärä (TSP, total suspended particles). Tällä tarkoitetaan pölyä, jota tulee pääasiassa muualta kuin pakoputkista; rengas- ja jarrupöly, asfalttipöly sekä hiekoitus-pöly. Siitä seuraa muun muassa likaantumista ja viihtyisyyshaittoja. Näitä vaikutuksia arvioitiin alkuperäisissä päästökustannusselvityksissä, mutta niiden merkitystä tulisi arvioida uudestaan koska katupölyongelma on edelleen ajankohtainen etenkin keväisin.

Alkuperäisissä päästökustannusselvityksissä tieliikenteen aiheuttaman likaantumisen arvoksi määriteltiin noin 32 M€/vuosi (vuoden 1997 hinnoissa; Tielaitos 1999). Vesiliikenteen päästöjen likaava vaikutus oli noin 1 M€/vuosi (Merenkulkulaitos 2000).

4.5 Ilmastomuutoksen arvottaminen

Liikennesektorin vaikutusarvioinneissa sovellettu hiilidioksiditonnin yksikköarvo (37 €/tonniCO₂ vuoden 2010 hinnoissa) on peräisin ExternE-tutkimuksista. Arvo se perustuu ilmastomuutoksen pitkän tähtäimen haittakustannusarvioihin 1990-luvulta (taulukko 13; huom. arvot ovat markoissa). Suomen yksikköarvo oli alun perin 32 €/tonniCO₂ (noin 190 markkaa) ja valittiin asteikon korkeammista arvoista.

Yleisin tapa arvottaa haittoja on arvioida ilmaston lämpenemisen vaikutusta bruttokansantuotteisiin yhteiskunnallisten kustannusten lisääntymisen ja talouden tuotannon vähenemisen kautta. Kustannusarvioiden tekeminen on haastavaa. Ilmastomuutoksen taloudelliset vaikutukset ovat epävarmoja, tarkasteluissa kyetään arvioimaan vain tiettyjä talouden sektoreita, vaikutustarkastelun aikajänne on pitkä, diskonttaus-korko vaikuttaa tarkasteluun merkittävästi ja globaalisti yleispätevän hintatason valinta on haastavaa.

¹⁹ METLA. MetINFO - metsänomistajapalvelu. Kanto- ja hankintahintojen kehitys 1993-.

Taulukko 13. Hiilidioksiditonin haittakertoimien vaihtelu lähtöoletuksista ja käytystä mallista riippuen, mk/tCO_2 (Merenkululaitos 2000; ExternE).

Vaikutusalue	EU	Koko maailma	Koko maailma	Koko maailma
Hintataso	EU:n hinta- taso	Paikallinen hintataso	Globaali keskimää- räinen hintataso	EU:n hintataso
Laskentakorko 0 %	3 - 23	58 - 110	160 - 180	450 - 680
Laskentakorko 1 %	3 - 8	20 - 69	44 - 110	130 - 450
Laskentakorko 3 %	0,3 - 3	-9 - 24	2 - 56	9 - 230

On myös vaihtoehtoisia arvottamistapoja, mutta niilläkin on puutteensa. Toimenpidekustannuksiin perustuva arvottaminen kertoo päästöjen vähentämisen kustannuksista (per tonni), mutta ne eivät kerro ei päästöjen aiheuttamien haittojen taloudellisista vaikutuksista.

Hiilidioksidia hinnoitellaan myös päästöoikeuksien markkinoilla (EU ETS; European Union Emission Trading Scheme). Hinta on kuitenkin vaihdellut voimakkaasti. Alhaisimmillaan hinta on ollut vain muutamia kymmeniä senttejä ja korkeimmillaan vajaa 30 €/tonni CO_2 .²⁰ Tulevilla päästökauppakausilla markkinoiden toimintaehtoja oletettavasti muutetaan niukemmiksi niin, että päästöoikeuksien hintataso nousee.

Ilmastomuutoksen globaalin luonteen vuoksi globaalin taloudellisen ohjauksen mallit tarjoavat ehkä parhaan vaihtoehdon hiilidioksiditonin arvottamiseen. William Nordhaus ja Richard Tol ovat tutkineet ilmastomuutoksen kustannuksia ja optimaalista ilmastopolitiikkaa, ja he ovat määrittäneet globaalin hiiliveron tasoa.²¹

Tarkastelut lähtevät liikkeelle ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden tasapainottamistarpeesta, ilmastomuutoksen haittakustannuksista ja hyödyistä sekä taloudellisesta ohjauksesta, joka tuottaa tasapainon globaalin hiiliverotuksen kautta. Taloudellisen ohjauksen tehokas taso vastaa ilmastomuutoksen haittakustannuksia hiilitonnia kohti. Haittakustannukset määritetään bkt-pohjalta (kuten edellä kuvattiin). Tarkasteluissa haittojen arvo ja ohjauksen voimakkuus muuttuu tarkasteluperiodin aikana.

Nordhaus (2008) toteaa optimaalisen hiiliveron lähtevän nykytilanteessa noin tasolta 30 \$/hiilitonni. Vero nousee tasolle 90 \$/hiilitonni vuoteen 2050 mennessä ja edelleen tasolle 200 \$/hiilitonni vuoteen 2100 mennessä. Hiilidioksiditonnia kohti verotaso nousisi ajanjaksolla siten 8 dollarista 54 dollariin.²²

Tol (2009) arvioi globaalin hiiliveron soveliaaksi lähtötasoksi 25–50 \$/hiilitonni, eli noin 6–14 \$/tonni CO_2 . Tol toteaa myös 1990-luvun haittakustannusarvot epäluotettaviksi, ja että systemaattisia ilmastomuutoksen taloudellisia arviointeja on tehty varsin vähän.²³

²⁰ Esimerkiksi marraskuussa 2010 hinta oli noin 15 euroa/tonni CO_2 . www.pointcarbon.com

²¹ Globaalia hiiliveroa on esitetty vaihtoehtona päästokiintiöille ja päästökaupalle.

²² Yksi hiilitonni tuottaa noin 3,7 tonnia hiilidioksidia (hiilen ja hiilidioksidin atomipainojen suhde on 44/12).

²³ Niin sanottu Stern -raportti sai suurta huomiota ja esitti ilmastomuutokselle korkeita kustannuksia. Raportti on sittemmin todettu tieteellisesti kyseenalaiseksi (ks. esim. Nordhaus 2007 ja 2008).

Edellä esitetyn nojalla ilmastonmuutokselle Suomen vaikutusarvioinneissa määritellyä haittakustannusta ei ole perusteltua muuttaa suuntaan tai toiseen. Yksikköarvo on selvästi korkeampi kuin taso, jonka Nordhaus (2008) ja Tol (2009) arvioivat globaalille hiiliverolle ja mitä päästöoikeuksien korkeimmat hintanoteeraukset ovat olleet EU ETS:n ensimmäisillä päästökauppakausilla.

Euroopan komission IMPACT -tutkimuksessa muodostettiin suositus hiilidioksiditonnin arvottamiseen niin, että yksikköarvo nousee ajan myötä (taulukko 14). Tarkastelu nojaa samantyyppiseen bkt-pohjaiseen ilmastonmuutoksen haittojen arvottamiseen kuin Tol:n ja Nordhausin tarkastelut, ja haittojen arvo myös nousee tulevaisuudessa.

Suomen nykyinen yksikköarvo (37 €/tonni CO_2) on lähellä vuoden 2010 korkeaa IMPACT:n suositustasoa. Arvoa tulisi silti korottaa tulevaisuuteen ulottuvissa tarkasteluissa (hankkeiden laskentaperiodilla) niin keskimääräisen kuin korkean suositustason mukaan.

Taulukko 14. Hiilidioksiditonnin ulkoinen kustannus, €/tonni CO_2 (CE Delft 2008).

Vuosi	Matala arvo	Keskimääräinen arvo	Korkea arvo
2010	7	25	45
2020	17	40	70
2030	22	55	100
2040	22	70	135
2050	20	85	180

Suomen vaikutusarvioinneissa on tulevaisuudessa syytä erikseen noteerata ilmasto-politiikassa hiilineutraaleiksi määritellyt tai vähän päästöjä aiheuttavat polttoaineet ja energian lähteet. Käyttövoimaa ei voida painottaa kasvihuonekaasuja koskevassa vaikutusarvioinnissa niin kuin fossiilisia polttoaineita. Uudet käyttövoimat vaikuttavat myös muiden yhdisteiden päästömääriin ja haittavaikutuksiin.

Tieliikenteessä astuu vuoden 2011 alussa voimaan RES -direktiiviin perustuva pakko sekoittaa bensiiniin bioperäisiä tisleitä (biopoltttoaineiden jakeluvaikeus nousee kokonaistasolla neljästä prosentista kuuteen prosenttiin vuosiksi 2011–2014 ja asteittain 20 prosenttiin vuoteen 2020 mennessä).

Edelleen, esimerkiksi HSL:n liikenteessä otetaan käyttöön biodieseliä ja biokaasua käyttäviä ajoneuvoja ja niitä suositaan kilpailutuksessa. Kaiken kaikkiaan tieliikenteessä käyttöön voi tulla useita uusia bioperäisiä polttoainevaihtoehtoja niin bensiini- kuin dieselajoneuvoille.

Sähkövetoisessa junaliikenteessä voidaan käyttää ilmastoneutraalisti tuotettua sähköä. Dieselvetoisessa junaliikenteessä voidaan oletettavasti käyttää biopoltttoaineita. Lentoliikenteessä otetaan käyttöön uusiutuvista raaka-aineista valmistettavia polttoaineita ja näin vältetään lentoliikenteen päästökaupassa tarvittavien päästökiintiöiden hankintaa (Finnair ilmoittaa tekevänsä niin jo keväällä 2011). Edelleen, myös vesiliikenteessä on biopoltttoaineiden käyttömahdollisuuksia (mm. biokaasu).

4.6 Suomen päästökustannusten vertailu kansainvälisiin tutkimustuloksiin

Useissa Euroopan komission tutkimushankkeissa (mm. HEATCO ja IMPACT) on määritetty päästökustannusten yksikköarvoja Euroopan maille. Tarkoituksena on yhtäältä osoittaa päästökustannusten merkittävyys liikennettä koskevassa päätöksenteossa sekä toisaalta tuottaa numerotietoa vaikutustarkasteluja varten. Näihin määrittelyihin verrattuna suomalaiset päästökustannusten yksikköarvot (esimerkiksi tieliikenne taulukossa 15) ovat olleet hiukkasia lukuun ottamatta korkeampia.

Esimerkiksi HEATCO -selvitys (IER 2004b) esitti Suomelle vuoden 2002 hinnoissa

- typen oksideille arvon 900 €/tonni,
- NMVOC:lle (hiilivety-yhdisteet) 200 €/tonni,
- rikkidioksidille 600 €/tonni ja
- hiukkasille (PM_{2,5}) 360 000 €/tonni kaupungeissa ja 30 000 €/tonni haja-asutusalueella.

HEATCO:n Suomelle esittämät päästökustannusten tasot ovat Euroopan maista alhaisimpia.

Taulukko 15. Tieliikenteen päästökustannukset yhdisteittäin vuonna 2005 (Tiehallinto 2005).²⁴

Yhdiste	Yksikkö	Taajama	Haja-asutusalue	Keskimäärin (painotettu)
Rikkidioksidi (SO ₂)	euroa/tonni	14 133	2 100	8 764
Typen oksidit (NO _x)	euroa/tonni	1170	458	773
Hiukkaset (PM _{2,5})	euroa/tonni	212 579	6 642	109 057
Hiilimonoksidi (CO)	euroa/tonni	26	1	17
Hiilivedyt (HC)	euroa/tonni	70	70	70
Hiilidioksidi (CO ₂)	euroa/tonni	34	34	34

IMPACT -tutkimuksessa (CE Delft 2008) Suomelle määriteltiin päästökustannusten tasot vuoden 2000 hinnoissa (suluissa lähdetutkimus)²⁵ yhtä aikaa tie-, rautatie- ja vesiliikenteelle:

- typen oksidit 800 €/tonni (CAFE CBA),
- NMVOC (hiilivety-yhdisteet) 200 €/tonni (CAFE CBA),
- rikkidioksidi 1 800 €/tonni (CAFE CBA),
- hiukkaset (PM_{2,5}) urbaani metropoli 337 100 €/tonni (HEATCO)
- hiukkaset (PM_{2,5}) urbaani metropoli (yli 0,5 milj. asukasta) 337 100 €/tonni (HEATCO)
- hiukkaset (PM_{2,5}) urbaani (alle 0,5 milj. asukasta) 108 600 €/tonni (HEATCO)

²⁴ Taulukon luvut perustuvat tasoltaan vuodelle 2000 erilliselivityksellä määritettyihin lukuihin (ks. luku 2). Lukuja on korotettu vuoden 2005 hintatasoon kustannusindeksillä.

²⁵ Mäkinen (2009) käytti IMPACT:n tietoja Suomen liikennejärjestelmän ulkoisten kustannusten tarkasteluissa.

- hiukkaset (PM_{2,5}) haja-asutusalue 28 100 €/tonni (HEATCO)
- hiukkaset (PM₁₀) urbaani metropoli 134 800 €/tonni (HEATCO)
- hiukkaset (PM₁₀) urbaani metropoli (yli 0,5 milj. asukasta) 43 400 €/tonni (HEATCO)
- hiukkaset (PM₁₀) haja-asutusalue 11 200 €/tonni (HEATCO).

IMPACT -tutkimus esittää osittain samantasoiset päästökustannusten arvot kuin HEATCO (hintatasovuodet poikkeavat toisistaan) ja se johtuu samoista määrittämismenetelmistä ja lähdetutkimuksista. IMPACT:n esittämät isojen hiukkasten (PM₁₀; mm. katupöly) yksikköarvot ovat harkinnan arvoinen laajennus Suomen tarkasteluihin, joissa on terveysvaikutusten osalta otettu huomioon ensisijaisesti pakokaasuperäiset pienet hiukkaset (PM_{2,5}). Kolmen eri liikennemuodon päästökustannusten yhteistarkastelu on kuitenkin jossain määrin kyseenalainen verrattuna erilliseen tarkasteluun.

Yksikköarvojen eroille on selkeitä perusteita. Suomalainen määrittäminen on kattanut vaikutuksia yleiseurooppalaisia selvityksiä laajemmin ja lähtöaineistot on määritetty tarkemmin Suomen olosuhteiden (mm. päästöt, pitoisuudet ja väestötiheys) mukaan. Sikäli vertailut kansainvälisiin selvityksiin eivät ole suoraan käypä lähtökohta yksikköarvojen tason arviointiin.

Vertailuista voidaan kuitenkin suuntaa antavasti havaita, että ainakin rikkidioksidin arvot ovat Suomen omissa määrittelyissä selvästi korkeammat sekä hiilivetyjen ja hiukkasten arvot alhaisemmat kuin yleiseurooppalaisissa tarkasteluissa Suomelle määritellyt arvot. Hiukkasten osalta voidaan kysyä, onko Suomessa pääkaupunkiseudulla yksi yli puolen miljoonan asukkaan urbaani metropoli vai kolme alle puolen miljoonan asukkaan kaupunkia? Ratkaiseva tekijä on väestötiheydelle eri kategorioissa määritellyt kynnysarvot, ja niitä tulisi arvioida tarkemmin Suomen ja Keski-Euroopan olosuhteita vertaillen.

5 Yhteenveto ja suositukset

5.1 Päästöjen merkitys

5.1.1 Yleisesti

Suomen liikenteen päästöistä paikallisesti ja alueellisesti haitalliset yhdisteet ovat vähentyneet varsinkin tieliikenteessä jopa merkittävästi ja haittakustannukset ovat oletettavasti kokonaisuudessaan vähentyneet liikenteen kasvusta huolimatta. Ilman tarkempia pitoisuusmäärytyksiä ja vaikutuslaskelmia ei silti voida sanoa, kuinka paljon haitat ovat muuttuneet eri liikenneympäristöissä tarkasteltuna. Myöskään ei tiedetä kuinka päästökustannusten yksikköarvot (€/tonni/yhdiste ja €/liikennesuorite) muuttuvat kun päästömäärät muuttuvat.

Päästöistä aiheutuu edelleen varsinkin terveyshaittoja. Epidemiologinen vaikutustarkastelu on kehittynyt aiempaa kattavammaksi. Epidemiologisessa tutkimuksessa korostuvat alati enemmän hiukkasten terveyshaitat. Hiukkasten tarkastelussa eritellään aiempaa paremmin suoraan pakokaasuissa esiintyvät erikokoiset hiukkaset sekä muiden yhdisteiden kautta muodostuvat hiukkaset ja näiden yhteisvaikutukset. Edelleen, sairaanhoidon kustannusten nousu ja hyvinvoinnin arvostuksen kasvu lisää sairastavuuden haittakustannuksia.

Satokasveihin, metsiin ja rakennusmateriaaleihin vaikuttavien päästöjen (mm. NO_x ja SO₂ sekä niistä muodostuvat yhdisteet) vähennyttyä taloudellisten haittojen merkitys voi olla näissä vaikutusluokissa nykyisin vähäinen.

Tarkempien laskelmien avulla tulisi arvioida, mitä paikallisesti ja alueellisesti haitallisia yhdisteitä on mielekästä arvioida eri liikennemuodoilla taloudellisesti ottaen huomioon liikenneympäristö ja päästöjen määrä. Terveyshaitat keskittyvät taajamiin, missä on enemmän altistuvaa väestöä, kun taas haja-asutusalueilla päästöjen määrä, pitoisuudet ja altistuva väestö ovat vähäisempiä. Joillain yhdisteillä voi olla vain vähäinen merkitys siellä, missä sille altistuu vähän ihmisiä.

Kasvihuonekaasujen päästömäärät ovat lisääntyneet kaikilla liikennemuodoilla selvästi ja niiden ilmastopoliittinen merkitys on voimistunut. Kasvihuonekaasut korostuvat myös siksi, että muiden yhdisteiden aiheuttamien terveysvaikutusten merkitys on vähentynyt. Jatkossa suositellaan, että kasvihuonekaasuja käsitellään ottaen huomioon hiilidioksidin ohella myös metaani ja typpioksiduuli niin kokonaiskustannusten kuin yksikköarvojen määrittelyssä. Se voidaan tehdä sekä eritellysti että yhdistäen päästöjen vaikutus hiilidioksidiekvivalenteiksi.

Tulevaisuudessa on myös noteerattava käyttöön otettavien ilmastopoliittisesti hiilineutraalien tai vähän päästöjä aiheuttavien polttoaineiden ja energian lähteiden painoarvo. Niitä ei voida arvottaa päästötarkasteluissa kuten fossiilisia polttoaineita, vaan ilmastomuutokseen liittyvien haittojen arvo on nolla. Samalla on otettava huomioon uusien polttoaineiden ja energian lähteiden yleistymisen merkitys muille yhdisteille.

5.1.2 Tieliikenne

Terveydelle haitallisten päästöjen väheneminen on vähentänyt tieliikenteen päästöjen haittoja. Arviot päästöjen kohdentumisesta väestökeskittymiin ovat muuttuneet niin, että haitat ovat oletettavasti vähentyneet taajamissa voimakkaammin kuin haja-asutusalueilla. Tarkempi arvio muutoksista voidaan muodostaa vain uudella vaikutus-tarkastelulla.

Mahdollisissa uusissa tarkasteluissa on syytä tarkentaa erikokoisten hiukkasten ja katupölyn merkitystä niin terveysvaikutusten kuin likaantumisen osalta.

Typenoksidien (NO_x) vaikutuksia luontoon ja materiaaleihin tulee arvioida tarkem-min. Tuloksista riippuen nämä vaikutukset voidaan mahdollisesti rajata tarkastelusta pois. Rikkipäästöjen vaikutuksia luontoon ja materiaaleihin ei ole tarvetta enää tar-kastella, koska päästöjä tulee tieliikenteestä enää vähän.

Hiilidioksidipäästöjen selvä kasvu on lisännyt ilmastovaikutusten merkitystä päästö-kustannuksissa. Yksikköarvon (€/tonni) muuttamista suuntaan tai toiseen on kuitenkin vaikea perustella. Typpioksiduulipäästöjen voimakas lisääntyminen tieliikentees-sä puoltaa päästölajin lisäämistä liikenteen vaikutustarkasteluihin. Typpioksiduuli-tonnin painoarvo kasvihuonekaasuna on 296-kertainen hiilidioksiditonniin verrattu-na. Samoin huomioon tulisi ottaa metaani, jonka merkitys kasvihuonekaasuna on 21-kertainen hiilidioksiditonniin verrattuna. Arvottaminen tapahtuu em. painokertoimien ja hiilidioksiditonniin yksikköarvon avulla.

Uusien bioperäisten ja muiden ilmastoneutraalien käyttövoimien merkitys tulee jat-kossa ottaa huomioon. Ilmastoneutraalien käyttövoimien hiilidioksidipäästöjä ei voi-da painottaa fossiilisperäisen hiilidioksidin yksikkökustannuksella. Myös haitallisten yhdisteiden päästömäärät voivat muuttua uusien polttoaineiden yleistyessä niin, että se vaikuttaa päästökustannusten kokonaistason.

Taulukko 16. Arvio päästöjen merkittävyyden kehityksestä (1996–2007) ja suositus jatkotarkasteluihin.

	CO	HC	NO _x	PM	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂
Päästömäärän kehitys	-30 %; etenkin taajamat	-50 %; etenkin taajamat	-60 %; etenkin maantiet	-65 %; etenkin taajamat	-42 %	+123 %	-94 %	+20 %
Merkitys*	Vähentynyt (T)	Vähentynyt (T ja L)	Vähentynyt (T ja L)	Vähentynyt (T)	Vähentynyt (I)	Lisään-tynyt (I)	Vähentynyt (L)	Lisään-tynyt (I)
Suositus jat-kossa *	Tarkas-tellaan, etenkin taajama (T)	Tarkas-tellaan, etenkin taajama (T)	Tarkas-tellaan (T ja L)	Tarkas-tellaan (T)	Tarkas-tellaan (I)	Tarkas-tellaan (I)	Ei tar-kas-tella (L)	Tarkas-tellaan (I)

* T = terveys, L = luonto, I = ilmasto

5.1.3 Rautatieliikenne

Sähkövetoisen rautatieliikenteen päästöjen vähäisyyden vuoksi päästökustannusten tarkastelusta voidaan harkita luovuttavan haitallisten yhdisteiden osalta. Yleisesti ottaen sähköntuotannon päästöt (NO_x ja PM_{2,5}) edelleen vähentyvät, koska IE-direktiivi (Industrial Emissions) tulee leikkaamaan niitä voimakkaasti vuoteen 2016 mennessä. Päästökustannusten tarkastelu on sähkövetoisessa rautatieliikenteessä merkityksetöntä varsinkin, jos käytetään sähköä, jonka tuotanto on vähäpäästöistä tai jopa päästötöntä.

Ilmastopoliittisista syistä kasvihuonekaasujen (energiankulutuksen) tarkastelua on arvioitava erikseen. Sähkövetoinen liikenne voi osoittaa käyttävänsä uusiutuvalla energialla tai ydinvoimalla tehtyä sähköä, tai sitten sähköntuotannon primäärienergiavalikoimaan kuuluu myös fossiilisia polttoaineita tai turvetta. Sähkönkäytön ilmastopoliittinen merkitys on näissä tilanteissa erilainen. Suomen sähköntuotannossa kivihiiltä mahdollisesti korvataan biopolttoaineilla, ja se osaltaan vähentää sähköntuotannon ilmastohaittoja. Toisaalta energiankulutuksen kasvu voi hidastaa kivihiilestä luopumista.

Dieselvetoisen rautatieliikenteen päästöjen tarkastelu on edelleen tietyin ehdoin perusteltua, vaikka päästömäärät ovat vähäisiä muihin liikennemuotoihin verrattuna. Dieselvedon päästöillä on merkitystä silloin, kun se tapahtuu suurten taajamien ääressä, mutta vähemmän haja-asutusalueilla. Etenkin dieselvetoisen vaihtotyön tarkastelua tulisi lisätä, kun se tapahtuu taajamissa. Biopolttoaineiden käyttöönotto on mahdollista myös rautateillä.

Taulukko 17. Arvio päästöjen merkittävyyden kehityksestä (1996–2007) ja suositus jatkotarkasteluihin - dieselveto.

	CO	HC	NO _x	PM	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂
Päästömäärän kehitys	Päästöt -15 %	Päästöt -66 %	Päästöt -23 %	Päästöt -16 %	Päästöt +5 %	Päästöt +13 %	Päästöt -27 %	Päästöt +20 %
Merkitys*	Vähentynyt (T)	Vähentynyt (T ja L)	Vähentynyt (T ja L)	Vähentynyt (T ja L)	Lisääntynyt (I)	Lisääntynyt (I)	Vähentynyt (L)	Lisääntynyt (I)
Suositus jatkokossa *	Harkitaan tarvetta (T)	Harkitaan tarvetta (T)	Harkitaan tarvetta (T)	Tarkastellaan, taajama (T)	Tarkastellaan (I)	Tarkastellaan (I)	Harkitaan tarvetta, taajama (T)	Tarkastellaan (I)

* T = terveys, L = luonto, I = ilmasto

5.1.4 Vesiliikenne

Vesiliikenteen alueellisesti ja paikallisesti haitalliset päästöt eivät ole vähentyneet niin kuin on käynyt tieliikenteessä. Lisäksi vesiliikenteen haitallisten yhdisteiden päästöt aiheutuvat nykyasityksen mukaan aiempaa painokkaammin satamissa (laiturit ja satamaväylät). Nämä seikat lisäävät vesiliikenteen päästöjen terveysvaikutusten merkitystä. Tosin häkä- ja hiilivetypäästöissä (CO ja HC) vesiliikenteen osuus on murto-osa esimerkiksi tieliikenteen päästöistä. Sen sijaan typen oksideissa päästöjen vähenemisestä huolimatta määrät ovat vesiliikenteessä tieliikennettä korkeammat ja

hiukkasissa (PM_{2,5}) lähes yhtä suuret. Rikkipäästöt ovat lähivuosina vähenemässä siinä määrin, että luontovaikutukset voivat olla vähäisiä vuoden 2015 jälkeen.

Vesiliikenteen ilmastovaikutus on kasvanut selvästi hiilidioksidipäästöjen (CO₂) lisääntyä, vaikkakin metaanin (CH₄) ja typpioksiduulin (N₂O) päästöt ovat vähentyneet. Mahdolliset uudet käyttövoimat (esimerkiksi kaasu) vaikuttavat päästöjen määrään ja merkitykseen niin kasvihuonekaasujen kuin alueellisesti ja paikallisesti haitallisten yhdisteiden osalta.

Taulukko 18. Arvio päästöjen merkittävyyden kehityksestä (1996–2007) ja suositus jatkotarkasteluihin.

	CO	HC	NOx	PM	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂
Päästö-määrän kehitys	Päästöt +5 %;	Päästöt +1 %	Päästöt -8 %;	Päästöt +1 %	Päästöt -48 %	Päästöt -6 %	Päästöt -7 %	Päästöt +28 %
Merkitys*	Lisään- tynyt, taajama (T)	Ennal- laan (T ja L)	Vähen- tynyt, pait- si taajama (T ja L)	Ennal- laan (T)	Vähen- tynyt (I)	Vähen- tynyt (I)	Vähen- tynyt (L)	Lisään- tynyt (I)
Suositus jatkossa*	Tarkas- tellaan (T)	Tarkas- tellaan (T)	Tarkas- tellaan (T ja L)	Tarkas- tellaan (T)	Tarkas- tellaan (I)	Tarkas- tellaan (I)	Tarkas- tellaan per 2015 (L)	Tarkas- tellaan (I)

* T = terveys, L = luonto, I = ilmasto

5.2 Haittavaikutusten arvo

5.2.1 Terveysvaikutukset

Mikäli päästökustannusten päivittämiseen edetään, on sairaanhoidon kustannuskehitys otettava huomioon ja erityistä huomiota on kiinnitettävä vakavamman sairastamisen vaatimaan erityissairaanhoidon. Tietolähteenä voidaan käyttää sairaanhoidon yksikkökustannustilastoja.

Menetetyn työajan arvottaminen nykypäivän tasossa voidaan tehdä taloustilastojen pohjalta. Lievempien sairastapausten ja kroonisen sairastamisen inhimillisiä hyvinvointivaikutuksia tulisi arvottaa tuoreemmilla tiedoilla kuin alkuperäisissä päästökustannus selvityksissä. Erillisen arvottamistutkimuksen tekeminen ei ole tarpeellista, jos esimerkiksi muista Pohjoismaista löytyy vastaavia empiirisiä arvoja.

Vakavien sairauksien ja kuolemien tapauksessa inhimillisen hyvinvoinnin menetyksiä (menetetty elinvuosi ja tilastollinen elämä) voidaan arvottaa yleiseurooppalaisten tutkimustietojen pohjalta. Arvoja voidaan haluttaessa säätää tarkemmin lähdetutkimusten olosuhteet huomioon ottaen Suomeen paremmin sopiviksi.

5.2.2 Luonto- ja materiaali-vaikutukset

Keskeisimpien luontovaikutusten (metsän kasvun ja satojen tappiot) taloudelliset arvot voidaan päivittää metsä- ja maataloustilastojen avulla. Korroosiolle alttiiden ma-

terialien määrän inventointi ja kulumisen arvostaminen voidaan tehdä rakennuskantatilastojen sekä rakennusalan kustannustietojen avulla. Näiden vaikutuserien taloudellista merkitystä ja arvioinnin tarvetta on ensin syytä arvioida relevanttien päästöjen kehityksen valossa.

5.2.3 Ilmastonmuutos

Fossiilisten polttoaineiden hiilidioksidipäästöille Suomen vaikutusarvioinneissa määritetty haittakustannus (37 €/tonni vuoden 2010 hintatasossa) ei ole tieteellisesti vahvalla pohjalla, mutta tarjolla ei uutta ole tutkimustietoa, jonka pohjalta arvoa voitaisiin perustellusti muuttaa. Yksikköarvon korottamista vaikutusarviointien laskentakausilla voidaan kuitenkin harkita esimerkiksi Nordhausin mallin tai IMPACT-tutkimuksen suositusten mukaisesti.

Ilmastopoliittisesti hiilineutraaleista lähteistä peräisin olevat uudet liikenteen polttoaineet ja käyttövoimat on noteerattava päästökustannustarkasteluissa niiden ilmastopoliittisen painoarvon mukaisesti. Näillä polttoaineilla ja käyttövoimilla ei ole samanlaisia ilmastovaikutukseen perustuvia haittakustannuksia kuin fossiilisilla polttoaineilla.

5.3 Erityiskysymyksiä Suomessa

Liikenneviraston asiantuntijat ovat nostaneet esille kaksi erityisasiaa, joita tulisi arvioida mahdollisessa jatkoselvityksessä uudestaan nykypäivän tietämyksen valossa:

- Itämeren tila ja erityisesti päästöjen vaikutus rehevöitymiseen²⁶ sekä
- katupölyn ja isoihin hiukkasiin (PM10) liittyvät vaikutukset.

Näitä kysymyksiä tarkasteltiin jo alkuperäisissä päästökustannusselvityksissä, mutta molempiin liittyy edelleen ratkaisemattomia ongelmia sekä sittemmin on mahdollisesti karttunut uutta tutkimustietoa.

Itämeren tila

Itämeren ympäristöongelmat liittyvät ennen kaikkea typpi- ja fosforipäästöihin, joista ensin mainittu on osittain peräisin liikenteen pakokaasuista. Pääosa kuormittavista typpipäästöistä tulee esimerkiksi vajaasti puhdistetuista tai puhdistamattomista jätevesistä, maa- ja metsätaloudesta sekä energiantuotannon päästöistä kaukokulkeutena. Itämeren tila on edelleen arvioitu huonoksi, ja liikenteen päästöjen tarkastelu osana eri päästölähteitä on perusteltua.

Typpipäästöt aiheuttavat meressä etenkin rehevöitymistä, josta seuraa myös happikatoa syvänteissä. Rehevöityminen aiheuttaa muun muassa leväkasvustoja (sinilevä) ja muiden vesikasvien lisääntymistä, jotka rajoittavat ja estävät vesistöjen virkistyskäyttöä. Rehevöityminen lisää kalojen kokonaismäärää, mutta lajisto muuttuu hyödyntämisen kannalta epäedulliseen suuntaan. Happikato muun muassa hävittää poh-

²⁶ Rikkipäästöjen aiheuttama happamoituminen on vähentynyt, ja oletettavasti vähenee liikenteen osalta edelleen voimakkaasti uusien IMO -säännösten myötä vuonna 2015.

jäläimiä ja vaikuttaa siten ravintoketjuun. Typellä on myös kalasaaliita alentava happamoittava vaikutus.

Alkuperäisissä arvottamisselvityksissä typen (sekä rikin) vaikutuksia tarkasteltiin vesistöjen ja Itämeren virkistyskäytön sekä kalatalouden näkökulmista (Merenkulutus 2000). Mikäli uusi tutkimus tehdään, on syytä arvioida uudelleen, mikä painoarvo Itämeren vesiliikenteellä on Itämeren ympäristöongelmissa (ekologia, virkistyskäyttö ja kalatalous) tänä päivänä, ottaen huomioon eri päästölähteiden merkityksen muutos, Itämeren tilan kehitys ja muu uusi tutkimustieto.

Esimerkiksi SNOOP-projektissa on arvioitu aiempaa tarkemmin Itämerellä liikkuvien laivojen päästöjä vuonna 2010.²⁷ Uusi seurantatekniikka ja tietorekisterit sallivat yhdistää alusten ominaisuustietoja, reittejä, liikennöintimääriä ja muita päästöihin liittyviä tietoja. Näin saadaan parempi käsitys päästöjen kokonaismääristä, päästöistä alustyyppittäin, päästöjen kohdentumisesta Itämerellä ja esimerkiksi alusten kotimaista.

Isot hiukkaset ja katupöly

Katupölyongelma (TSP; total suspended particles) on Suomessa laaja etenkin keväisin johtuen nastarenkaiden käytöstä ja katujen hiekoituksesta. Nastarenkaat jauhavat asfalttia ja hiekoitushiekkaa pölyksi. Katupölyssä on myös muun muassa pakokaasuperäistä nokea, rengaspölyä sekä jarrupalojen kulumispölyä. Keväinen kuiva tuulinen ilma yhdessä liikenteen kanssa nostaa pölyä ilmaan runsaasti.

Katupölyn terveysvaikutuksiin lukeutuu erilaisia ärsytysoireita; silmien kutinaa ja kirvelyä sekä nuhaa ja yskää. Vaikutukset koskevat miltei kaikkia ihmisiä, mutta erityisen herkkiä väestöryhmiä ovat astmaatikoita, pienet lapset, keuhkohtaumaa, sepelvaltimotautia ja sydämen vajaatoimintaa sairastavat. Näissä ryhmissä katupöly voi heikentää keuhkojen toimintaa, astman oireiden pahentumista ja astmakohtauksia. Laajemmin katupöly aiheuttaa muun muassa viihtyisyyshaittoja ja likaantumista.

Alkuperäisissä päästökustannusselvityksissä katupölyä arvioitiin likaantumisen näkökulmasta. Jatkossa tulisi arvioida, onko syntynyt uutta tutkimustietoa, joka sallisi aiempaa paremmin eritellä eri lähteistä peräisin olevien erikokoisten hiukkasten terveys-, viihtyisyys- ja likaantumisvaikutuksia.

5.4 Arvottamisselvityksen resurssitarvearvio

Liikennesektorin päästökustannusten tarkka arviointi edellyttää varsin merkittävää resurssintyötä omainsen tarkastelukokonaisuuden laajuuden sekä runsaan poikittieteellisen yksityiskohtaisuuden vuoksi. Työmäärä on merkittävä myös siksi, että tarkastelu on mielekästä tehdä yhtä aikaa kolmelle liikennemuodolle (tie-, rautatie- ja vesiliikenne). Alkuperäiset päästökustannusselvitykset tehtiin erillisinä selvityksinä, mutta toistensa tietämystä hyödyntäen ja samojen asiantuntijoiden toimesta. Nyt on mahdollista tiivistää kokonaisuutta ja hyödyntää aikaisempien selvitysten materiaaleja ja kokemusta.

²⁷ Shipping-induced NO_x and SO_x emissions - OPERational monitoring network.

Päästökustannusten päivittämiseen kuuluvat seuraavat työvaiheet:

1. Suomen kokonaispäästöjen ja liikennesektorin päästöosuuksien tarkka määrittely (tieliikenne, rautatieliikenne, vesiliikenne vs. muut sektorit ja kaukokulkeuman osuudet) kokonaisuutena ja eri liikenneympäristöissä
2. Liikennesektorin päästöjen (tiettyjen yhdisteiden) pitoisuuksien määrittäminen ilman laatua kuvaavista tilastotiedoista ja/tai leviämismallintamisen kautta; otetaan huomioon eri yhdisteet ja liikenneympäristöt
3. Terveysvaikutuksia kuvaavien altistus-vaikutus -funktioiden päivittäminen
4. Luonto- ja materiaali-vaikutuksia koskevan altistus-vaikutustiedon päivittäminen
5. Suomen väestötiheystietojen ja altistuvia resursseja koskevien tietojen päivittäminen; päästöille eri liikenneympäristöissä altistuvat populaatiot ja muut resurssit
6. Terveysvaikutuksiin liittyvien taloudellisten yksikköarvojen määrittäminen mm. sairaspäivää, sairastapausta, työkyvyttömyyttä, menetettyä elinvuotta kohti ottaen huomioon eri oireet ja sairaudet; tarkastellaan sekä reaalityöelämän vaikutuksia että aineellista ja aineetonta hyvinvoinnin muutosta
7. Luonto- ja materiaali-vaikutuksiin liittyvien taloudellisten yksikköarvojen määrittäminen
8. Elinkaaritarkastelut sen selvittämiseksi, mikä merkitys käyttöä edeltävillä vaiheilla (raaka-aineiden hankinta ja jalostus sekä polttoaineiden jakelu) on liikenteen päästökustannusten kokonaisuudessa
9. Vaikutustarkastelut ja päästökustannusten määrittely eri liikennemuodoilla vaikutuslajeittain ja yhdisteittäin sekä kokonaisuutena eri liikenneympäristöissä
10. Kasvihuonekaasujen ja ilmastomuutoksen arvottaminen; ml. hiilidioksidi, metaani ja typpioksiduuli
11. Päästökustannusten yksikköarvojen määrittäminen (euroa/tonni/yhdiste) liikennemuodoittain liikennesektorin vaikutustarkasteluja varten.

Lisäksi on resursoitava työaika muun muassa päästöjen, ilmanlaadun ja epidemiologian erityisasiantuntijoiden kuulemiseksi sekä sisäisiin työkokouksiin, ohjausryhmytyöskentelyyn ja vaikutusarvioinnin ja tulosten esittelyyn. Aiheen poikkitieteellisyys vuoksi vaikutustarkastelua ja tuloksia on syytä esitellä asiantuntijoiden ja tuloksia käyttävien viranomaisien kesken jo työn aikana. Työ on raportoitava seikkaperäisesti laskentamalleineen kaikkien tarkasteltujen liikennemuotojen osalta.

Asiantuntijaresurssien vähimmäisvaatimuksena on koota yhteen päästöjen ja pitoisuuksien arvioinnin asiantuntija(t), vaikutuspolkumenetelmän ja muiden vaikutustarkastelujen asiantuntija sekä taloudellisten laskentatekijöiden määrittelyn asiantuntija.

Karkea työmääräarvio on esitetty työvaiheittain taulukossa 19. Arvion mukaan päästökustannusten kattava päivittäisselvitys kolmella eri liikennemuodolla edellyttää yhteensä vähintään noin kuuden ja enintään yhdeksän henkilötyökuukauden työpanosta (työtunteja noin 900–1 400). Selvityksen kokonaiskustannusarvio on noin 101 000–152 000 euroa (työn keskituntihinnaksi on oletettu 110 euroa, alv 0 %).

Kustannusarvio riippuu lopullisista työmääräarvioista, työssä tarvittavien asiantuntijoiden ja avustavien henkilöiden kokoonpanosta sekä heidän veloitushinnoista. Työn toteutus tehostuu, mikäli samat asiantuntijat voivat vastata useammista osatehtävistä. Suurin epävarmuus koskee pitoisuusmäärittelyjen työmäärää ja kustannuksia, koska ei ole varmaa missä määrin nykyään voidaan hyödyntää ilmanlaadun seuranta-tilastoja vai tuleeko pitoisuuksia määritellä mallilaskelmin.

Kolmen liikennemuodon päästökustannusten laskentaprojektin tekemiseen tulee varata työskentelyaikaa kaikkienensa vähintään 6 ja enintään 12 kalenterikuukauden verran.

Taulukko 19. Liikenteen päästökustannusten päivittäisselvitys – arvioitu resurssitarve (keskituntihinta laskelmassa 110 euroa, alv 0 %).

Osatehtävä	Henkilötyö, tunteja		Kustannusarvio, euroa	
	Min	Max	Min	Max
1 Päästöjen inventointi	40	80	4 400	8 800
2 Pitoisuusmäärittelyt	120	160	13 200	17 600
3 Terveysvaikutusten altistus- vaikutustarkastelun päivittäminen	80	120	8 800	13 200
4 Luonto- ja materiaali-vaikutusten altistus- vaikutustarkastelun päivittäminen	60	100	6 600	11 000
5 Populaatio-, luonto- ja materiaalitietojen päi- vittäminen	80	120	8 800	13 200
6 Terveysvaikutusten taloudellinen arvo (oireet, sairaspäivät, VOLL)	80	120	8 800	13 200
7 Luonto- ja materiaali-vaikutusten taloudelliset arvot	60	100	6 600	11 000
8 Polttoaineiden hankinnan, jalostamisen ja jakelun elinkaaritarkastelut	80	120	8 800	13 200
9 Vaikutustarkastelut (vaikutuspolkumenetelmä ja täydentävät tarkastelut)	80	120	8 800	13 200
10 Ilmastonmuutoksen arvottaminen	80	120	8 800	13 200
11 Päästökustannusten yksikköarvojen määrittely	20	40	2 200	4 400
12 Raportointi	80	100	8 800	11 000
13 Ohjausryhmäkokoukset, projektin sisäiset kokoukset, yleiset esittelyt	60	80	6 600	8 800
Yhteensä	920	1380	101 200	151 800

Lähteet

AEAT (2005a). Methodology for the Cost-Benefit analysis for CAFÉ: Service Contract for Carrying out Cost-Benefit Analysis of Air Quality Related Issues, in particular in the Clean Air for Europe (CAFÉ) Programme. AEA Technology Environment. February 2005.

AEAT (2005b). Damages per tonne of PM_{2,5}, NH₃, SO₂, NO_x and VOCs from each EU25 Member State (excluding Cyprus) and surrounding seas. Service Contract for Carrying out Cost-Benefit Analysis of Air Quality Related Issues, in particular in the Clean Air for Europe (CAFÉ) Programme. AEA Technology Environment. March 2005.

Bickel, P. & Friedrich, R. eds. (2005). ExternE. Externalities of Energy. Methodology 2005 Update. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung — IER. Universität Stuttgart, Germany Directorate-General for Research. Sustainable Energy Systems.

CE Delft (2008). Handbook on estimation of external costs in the transport sector. Produced within the study Internalisation Measures and Policies for All external Costs of Transport (IMPACT).

Friedrich, R. & Bickel, P. (eds.) (2001). Environmental Costs of Transport. Springer Verlag. Heidelberg.

Gynther, L., Otterström, T. & Vesa, P. (1998). Halukkuus maksaa puhtaammasta ilmanlaadusta. TEKES. SIHTI 2-tutkimusohjelma.

Haahtela, T., Pietinalho, A., Tuomisto, L., Klaukka, T., Erhola, M., Kaila, M., Nieminen, M., Kontula, E. & Laitinen, L. (2006) Suomalainen astmaohjelma 10 vuotta – suuri muutos parempaa. Suomen Lääkärilehti 42/2006.

Hujanen, T. (2003). Terveysthuollon yksikkökustannukset Suomessa vuonna 2001. Aiheita 1/2003. Stakes.

Hujanen, T., Kaipiainen, S., Tuominen, U., & Pekurinen, M. (2008). Terveysthuollon yksikkökustannukset Suomessa vuonna 2006. Stakesin työpapereita 3/2008.

Hämeikoski, K. & Tervonen, J. (2003). Liikenteen päästökustannukset. Päivitys ja yhteenveto. Liikenne- ja viestintäministeriön mietintöjä ja muistioita B 29/2003.

Hänninen, O., Leino, O., Kuusisto, K., Komulainen, K., Priha, E., Meriläinen, P., Haverinen-Shaughnessy, U., & Pekkanen, J. (2010). Elinympäristön terveysriskit. Terveysthuollon ja hyvinvoinnin laitos. 25.8.2010. (Ympäristö ja terveys -lehti 3/2010)

IER (2004a). NewExt. New Elements for the Assessment of External Costs from Energy Technologies. University of Stuttgart.

IER (2004b). HEATCO. Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment. Deliverable 5. Proposal for Harmonised Guidelines. <http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/>

Matveinen, P. (2010). Terveysthuollon menot ja rahoitus 2008. Terveysten ja hyvinvoinnin laitos. Tilastoraportti. Terveyst 2010.

Mellin, A. & Nerhagen, L. (2010). Health Effects of Transport Emissions. A review of the state of the art of data and methods used for external cost calculations. Center for Transport Studies CTS. Stockholm.

Merenkululaitos (1999). Suomen vesiliikenteen päästöjen ympäristövaikutusten kustannukset. Merenkululaitoksen julkaisu A 3/2000.

Mäkinen, H. (2009). Liikenteen ulkoisvaikutukset Suomessa ja EU:ssa. Katsaus ulkoisvaikutusten arvottamiseen ja ulkoisvaikutusten soveltamiseen hankearvioinnissa. Ratahallintokeskus A 13/2009.

Nerhagen, L., Forsberg, B., Johansson, C. & Lövenheim, B. (2005). Luftföroreningarnas externa kostnader. Förslag på beräkningsmetod för trafiken utifrån granskning av ExternE-beräkningar För Stockholm och Sverige. VTI Rapport 517.

Nordhaus, W. (2007). The Stern Review on the Economics of Climate Change. May 3 2007. <http://nordhaus.econ.yale.edu/>

Nordhaus, W. (2008). A Question of Balance. Weighting the Options on Global Warming Policies. Yale University Press.

Pietarila, H. ym. (2002). Ilmanlaadun alustava arviointi Suomessa. Hiilimonoksidi ja bentseeni. Ilmatieteen laitos – ilmanlaadun tutkimus.

Ratahallintokeskus (1999). Rautatieliikenteen polttoaineperäisten päästöjen aiheuttamat ympäristökustannukset. Ratahallintokeskuksen julkaisu A 2/1999.

Sosiaali- ja terveystministeriö (2010). Sosiaali- ja terveystkertomus 2010. Julkaisu A 2010:1.

Tiehallinto (2005). Tieliikenteen ajokustannusten yksikköarvot 2005.

Tielaitos (1999). Suomen tieliikenteen polttoaineperäisten päästöjen aiheuttamat ympäristökustannukset. Vuoden 1996 selvityksen päivitys. Tielaitoksen sisäisiä julkaisu A 23/1999.

Tilastokeskus (2008). Liikennetilastollinen vuosikirja 2008.

Tilastokeskus (2010). Ympäristötilasto. Vuosikirja 2010.

Tol, R. (2009). The Economic Effects of Climate Change. Journal of Economic Perspectives – Volume 23, Number 2, Spring 2009, pages 29–51.

Liik
enne
vira
sto

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-048-4

www.liikennevirasto.fi